

THESIS

MÜNCHEN

1968

Die Beurteilung der Bildgüte von Cholezysto- und Cholangiogrammen

Wolfgang Segerer



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus Institut und Poliklinik für Physikalische Therapie und
Röntgenologie der Universität München - Riederinstitut -
Direktor: Professor Dr. med. H. v. Braunbehrens

DIE BEURTEILUNG DER BILDGÜTE VON
CHOLEZYSTO- UND CHOLANGIOGRAMMEN

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilian-Universität zu München

vorgelegt von

Wolfgang Segerer

aus

Amberg

München

1968

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. F.E. Stieve

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. v. Braunbehrens

Dekan: Prof. Dr. med. F. Marguth

Tag der mündlichen Prüfung: 7.1.1969

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

Erster Teil

- I. Anatomie der Gallenwege
 - A. Intrahepatische Gallenwege
 - B. Der Hauptgallenweg
 - C. Der akzessorische Gallenweg
 - D. Die Topik der Gallenwege
- II. Physiologie der Gallenwege
 - A. Die Gallenproduktion
 - B. Physiologie des Sphinkter Oddi
 - C. Die Bedeutung der Gallenblase für die Cholekinese
 - D. Die Funktion des valvulomuskulären Kollum-Zystikus-Systems und des Hauptgallenweges
- III. Cholezysto- und Cholangiographie
 - A. Allgemeine Grundlagen
 - B. Kontrastdarstellung der Gallenwege mit Biligräfin
 - C. Kontrastdarstellung der Gallenwege mit Biloptin

Zweiter Teil

- I. Methodik
 - A. Anfertigung der Cholezysto- und Cholangiogramme
 - B. Einstellen des Meßgerätes und Meßvorgang
- II. Schwärzungskontraste normaler intravenöser und peroraler Cholezystogramme
 - A. Bestimmung der Schwärzungskontraste
 - B. Verhalten des Schwärzungscontrastes innerhalb eines Cholezystogramms
 - C. Einfluß der Gradationskurve auf Schwärzungskontraste im Cholezystogramm
 - D. Vergleich der Schwärzungskontraste normaler peroraler und intravenöser Cholezystogramme
 - E. Vergleich der Schwärzungskontraste normaler peroraler Cholezystogramme vor und nach einer Reizmahlzeit
- III. Schwärzungskontraste normaler Cholangiogramme
 - A. Schwärzungen der Gallengangsschatten und deren Umgebung, Schwärzungskontraste und Detailgrößen

- B. Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße
- IV. Unschärfen in normalen peroralen und intravenösen Cholezystogrammen und in intravenösen Cholangiogrammen
 - A. Bestimmung der Unschärfen
 - B. Meßergebnisse
- V. Der Begleitschatten der Gallenwege
 - A. Literatur
 - B. Mikrophotometrische Untersuchung des Gallenwegsbegleitschattens
- VI. Diskussion und Ergebnisse
 - A. Schwärzungskontrastverhalten im einzelnen Cholezystogramm
 - B. Einfluß der Reizmahlzeit auf die Schwärzungskontraste in peroralen Cholezystogrammen
 - C. Vergleich der Schwärzungskontraste in peroralen und intravenösen Cholezystogrammen
 - D. Einfluß der Belichtung auf die Schwärzungskontraste in Cholezysto- und Cholangiogrammen
 - E. Bildunschärfen
 - F. Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße
 - G. Der Gallenwegsbegleitschatten
- VII. Zusammenfassung

Literaturverzeichnis

Danksagung

Lebenslauf

Einleitung

So alt wie die Geschichte der Medizin ist die Suche des Arztes nach Möglichkeiten, Veränderungen am Menschen erfassen zu können, die das Erkennen einer Krankheit ermöglichen. Über Jahrtausende war man in diesem Bemühen allein auf unmittelbare Sinneseindrücke angewiesen, auf das, was Auge, Ohr, Nase und Hände am Patienten erfassen konnten. Daß so durchgeführte Untersuchungen mehr oder weniger auf die Oberfläche des Organismus beschränkt und die erhobenen Befunde häufig unvollständig oder fehlerhaft waren, ist verständlich.

Die Entwicklung der Physik und Chemie in den letzten hundert Jahren bescherte nun dem Arzt eine Vielzahl von Geräten, die es ihm erlauben pathologische Prozesse an Organen, die tief im Körperinneren liegen, nicht nur zu erfassen, sondern auch deren Entartungsgrad zu bestimmen. Der moderne Weg des Aufspürens von Krankheiten bringt jedoch, wie jeder Fortschritt, Schwierigkeiten und Gefahren mit sich. Zwischen Patient und Arzt ist ein Apparat getreten, in dem physikalische und chemische Prozesse ablaufen, die selbst für den speziell Ausgebildeten in all ihren Auswirkungen nicht mehr ohne weiteres überschaubar sind. Die Beurteilung dieser "technischen Wunderwerke" ist daher vielfach durch das Gefühl bestimmt, wobei bedingungsloses Vertrauen auf der einen, pauschale Ablehnung auf der anderen Seite zu finden sind. Beide Haltungen bringen uns dem Ziel, Kranken durch ein sicheres, vollständiges und schonendes Auffinden ihres Leidens zu helfen, nicht näher. Vielmehr muß für jede indirekte Untersuchungsmethode mit den Mitteln der Naturwissenschaft geklärt werden, auf welche Fragen sie eine Antwort geben kann, mit welchen Unsicherheitsfaktoren die Antwort belastet ist und welche Gefahren dem Patienten aus dieser Technik erwachsen.

Ein Ergebnis der wohl wichtigsten und am weitesten verbreiteten indirekten Untersuchungsmethode in der Medizin, die Untersuchung mit Röntgenstrahlen, ist die Röntgenaufnahme. Die Güte ihrer Aufzeichnung von Objekten, die den Arzt interessieren, zu beurteilen, d.h. zu entscheiden, wann eine Aufnahme für eine bestimmte Fragestellung als optimal anzusehen ist, stößt

wie Stieve und Widenmann (119) betonen, auf große Schwierigkeiten. Das Problem ist sicher nicht durch einfache Betrachtung der Bilder zu lösen, denn je nach Sehschärfe, Erfahrung und Gewohnheit des Beobachters müssen die Aussagen auseinandergehen. Ja selbst ein und derselbe Beschauer kann zu differenten Auffassungen kommen, wenn sich die Bedingungen ändern, unter denen er ein Bild begutachtet; hier können sich der Grad der Adaption, die Lichtstärke des Schaukastens, die mehr oder weniger gute Ausschaltung von Umfeldhelligkeiten und das Benützen oder Weglassen eines Betrachtungstubus auswirken. Objektive, jederzeit reproduzierbare Angaben über Schwärzungen, Schwärzungskontraste, Detailunschärfen und Detailgrößen in einer Röntgenaufnahme lassen sich durch fortlaufende photometrische Messungen gewinnen, eine Technik, die Stumpf (121) erstmals vor 40 Jahren bei Röntgenbildern anwandte. Stieve hat es sich zur Aufgabe gemacht mit seinen Mitarbeitern Röntgenphotogramme der verschiedensten Organe einer derartigen Untersuchung zu unterziehen. Ergebnisse über die Auswertung von Lungenaufnahmen sind bereits veröffentlicht (Hennecke (52), Stieve (118)). In der vorliegenden Arbeit sollen perorale und intravenöse Cholezysto- und Cholangiogramme hinsichtlich ihrer Bildgüte, d.h. vor allem ihrer Kontrastverhältnisse untersucht werden. So finden sich im zweiten Teil Befunde, die durch mikrodensitometrische Messungen gewonnen wurden.

Um der Qualität einer Abbildung gerecht werden zu können, muß das abgebildete Objekt erst möglichst klar erfaßt sein. Deshalb finden sich im ersten Teil dieser Schrift anatomische und physiologische Vorbemerkungen. Das Studium der Morphologie ermöglicht es dem Röntgenologen ja erst, Organformen aus dem komplexen Summationsbild, das die Röntgenaufnahme darstellt, wiederzuerkennen. Exakte Kenntnisse über den Aufbau eines Organs sind weiterhin Voraussetzung für das Verständnis seiner Funktion. Speziell bei der Röntgenuntersuchung der Gallenwege ist dieses Wissen notwendig, da sowohl die Kontrastdarstellung, wie auch die Funktionsdiagnostik in Form der Reizmahlzeit auf physiologischen Abläufen beruhen.

Erster Teil

I. Anatomie der Gallenwege

A. Intrahepatische Gallenwege

Der Strom der Galle, in den Leberzellen gebildet, nimmt seinen Weg vom Zentrum der Leberläppchen zur Peripherie. Hier gehen die Gallenkapillaren, die allein von Leberzellen begrenzt werden, mit ampullären Auftreibungen in kleine Röhren über, die mit einschichtigem, niedrig-kubischem, oft sogar plattem Epithel ausgekleidet sind. Diese sogenannten Zwischenstücke (Clara (25)) oder praekapillaren Gallenwege (Aschoff (3)), im perilobulären Bindegewebe gelegen, leiten das Sekret kleinen Gallenwegen zu, die in interlobuläre Gallengänge münden. Der Übergang der wandlosen Gallenkapillaren in die Zwischenstücke (Abb. 1) ist eine besonders kritische Stelle im



Abb. 1 Übergang der Gallenkapillaren in die Zwischenstücke
Drei Zwischenstücke (Z_1 , Z_2 , Z_3) münden in einen kleinen Gallengang; bei Z_1 ist eine deutliche Ampulle vorhanden. Um eine bessere Übersicht zu erreichen, wurde das Bindegewebe ausgespart (nach Clara 1930).

Gallengangssystem, da dort bei einer Behinderung des Gallenabflusses, sei sie durch einen mechanischen Verschuß der extrahepatischen Gänge oder durch eine Entzündung der intrahepatischen Gallenwege hervorgerufen, das Epithel der Zwischenstücke und benachbarte Leberzellen nekrotisieren. Dadurch fließt Galle in das Gewebe, wird mit der Lymphe resorbiert und gelangt ins Blut (22). Die interlobulären Gallengänge (Ductuli biliferi) verlaufen zusammen mit den Ästen der A. hepatica und der V. portae im Bindegewebe der Glissonschen Felder, schließen sich nach und nach zu immer größeren Röhren zusammen, um endlich in zwei großen Gängen, Ductus hepaticus dexter et sinister, die Leberpforte zu erreichen. Sie vereinigen sich meist innerhalb des Leberhilus zum Ductus hepaticus communis, manchmal verlaufen sie jedoch eine Strecke weit getrennt voneinander.

Das genaue Studium der Verzweigungen der V. portae und der intrahepatischen Gallengänge führte zu einer segmentalen Einteilung der Leber, die für chirurgische Eingriffe von großer Bedeutung ist. In Cholangiogrammen ist die intrahepatische Architektur, ausgezeichnet durch zahlreiche Variationen, nicht sichtbar, weshalb sich hier eine genaue Darstellung erübrigt. Es sei jedoch auf Arbeiten von Hjortsjö (56), Elias (34), Petty (35), Schmidt, Guttman (103) und Norman (87) hingewiesen.

Relativ häufig treten am Leberhilus neben den beiden normalen Gallengängen akzessorische Hepatizi aus, deren Kaliber zwischen haardünn und 2 - 3mm schwankt. Sie münden meist in den Ductus hepaticus communis, aber auch Vereinigungen mit dem Ductus hepaticus dexter et sinister, Zystikus und Choledochus kommen vor (54).

B. Der Hauptgallenweg

Ductus hepaticus communis und Ductus choledochus werden als Hauptgallenwege oder Hepatocholedochus zusammengefaßt und dem akzessorischen Gallenweg, aus Gallenblase und Ductus cysticus bestehend, gegenübergestellt.

Der Hepatikus verläuft im Ligamentum hepatoduodenale ventral und rechts von der V. portae (Abb. 2). Seine Länge schwankt je nach Lage der Mündung des Ductus cysticus zwischen 0 und 5,8 cm, im Durchschnitt beträgt sie 3,3 cm (89). Nach dem Zusam-

menfluß des Zystikus mit dem Hepatikus bildet der Choledochus dessen direkte Fortsetzung. Er verläuft von rechts oben vorne nach links unten hinten gegen die Pars superior duodeni. Ist der Oberrand des Zwölffingerdarms erreicht, so trennen sich die Gebilde des Ligamentum hepatoduodenale, der Choledochus biegt leicht nach rechts ab und legt sich der Hinterwand des Duodenum an. Der folgende Abschnitt des Hauptgallenganges liegt im Bereich des Caput pancreatis, wo er entweder dorsal in der fibrösen Pankreaskapsel oder in 50% der Fälle mehr oder weniger im Pankreasgewebe eingebettet liegt (86). Schließlich durchsetzt der Choledochus die drei Schichten der Duodenalwand und findet mit der Papilla duodeni major Anschluß an das Darm-lumen. Die Lage dieser Einmündung wird in den Lehrbüchern ge-wöhnlich mit der Mitte der Pars descendens duodeni am hinteren, medialen Umfang angegeben. Es treten hier jedoch beträchtliche Schwankungen auf; so kann die Papille hochsteigen und sich dem Pylorus bis auf 2 cm nähern, sie kann jedoch auch gegen die Flexura duodenojejunalis verschoben sein. An Hand der gezeig-ten topographischen Beziehungen wird der Choledochus in vier Abschnitte gegliedert, in einen supraduodenalen, retroduodena-

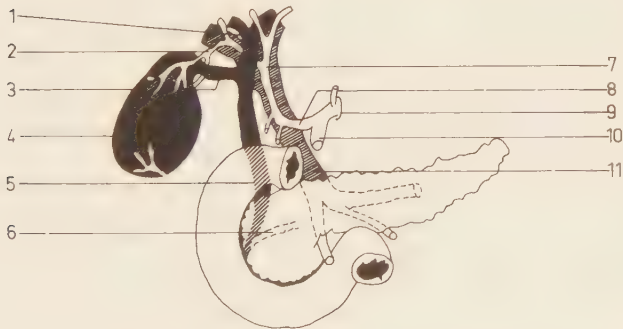


Abb. 2 Schematische Darstellung der Topographie der extrahepatischen Gallengänge

1 Ductus hepaticus, 2 A. cystica, 3 Ductus cysticus, 4 Gallenblase, 5 Ductus choledochus, 6 Ductus pancreaticus major, 7 A. hepatica propria, 8 A. hepatica communis, 9 Truncus coeliacus, 10 A. lienalis, 11 V. portae

len, retro- bzw. intrapankreatischen und einen intramuralen. Die vier Teilstrecken zusammen ergeben eine Länge von 5 - 7 cm. Die Gesamtlänge des Hepatocholedochus beträgt etwa 10 cm, in seinem oberen Abschnitt mißt man einen Durchmesser von 7 mm, in seinem unteren von 10 mm. Diese Zahlen wurden von Nuboer durch unmittelbare Messungen am Objekt gewonnen (89).

Der Hauptgallenweg ist überall von einschichtigem hochprismatischem Epithel ausgekleidet, das von einer spärlich ausgebildeten, subepithelialen Bindegewebsschicht unterlagert ist. Sie geht in eine kräftige, aus kollagenen und elastischen Fasern gewebte Adventitia über, die auch glatte Muskulatur aufweist. In äußeren, lockeren Bezirken der Adventitia liegen die mukoiden Gallengangsdrüsen, deren Drüsengänge der Lichtung des Gallenganges parallel verlaufen bevor sie münden (4, 53). Vorkommen und Bedeutung der glatten Muskulatur im Ductus hepatocholedochus werden in der Literatur sehr unterschiedlich beurteilt. Die meisten Autoren (89, 97, 4, 120, 109) sprechen von vereinzelt auftretenden Muskelbündelchen, die in wechselnden Verlaufsrichtungen eingebaut sind, deren Quantität starken individuellen Schwankungen unterworfen ist und denen meist keine Funktion zugesprochen wird. Mirizzi (85) und Bernhard (10) dagegen glauben an Hand von röntgenologischen Darstellungen des Gallenwegssystems, die zum Teil während Operationen an diesem Organ angefertigt wurden, ausgeprägte Bewegungsvorgänge am Hepatikus nachweisen zu können. Die beobachteten Kontraktionen wurden als Sperrmechanismus interpretiert, der den Rückfluß von Galle in Richtung nach dem Hepatikus und seinem Quellgebiet bei Drucksteigerung im Choledochus verhindern soll. Lang (71) hat in einer Arbeit versucht, die histologischen Grundlagen für diese Beobachtung zu finden. In seinen Untersuchungen an Stufenserienschnitten wurde nicht nur die Menge der vorhandenen Muskelbündel, sondern auch deren Richtung beachtet. Der Ductus hepaticus ist mehr oder minder gleichmäßig von spärlichen Muskelbündelchen umgeben, die im oberen Abschnitt in engen Schraubentouren verlaufen, also quer ziehen, choledochuswärts aber in immer steilere Windungen übergehen. Kurz hinter dem Zystikismündungsgebiet findet man fast nur noch längs ziehende Muskelbündel, die darmwärts immer zahlreicher werden. Entsprechend dem Verlauf der Muskula-

tur kommt es bei ihrer Kontraktion zu einer Verengung des Lumens im Bereich des Hepatikus, der Choledochus aber wird verkürzt, sein Lumen erweitert. Da jede Muskulatur natürlicherweise eine Funktion hat, so ist dies, obwohl sie im Hepatikus-Choledochus-System stellenweise relativ schwach ausgebildet ist, auch hier anzunehmen. Es muß jedoch betont werden, daß diese Anschauung nicht unbestritten ist. Hess (54) lehnt sowohl einen Sperrmechanismus des Hepatikus, wie auch Kontraktionen des Choledochus, die den Gallenabfluß fördern sollen, ab. Entsprechende Hinweise aus cholangiographischen Bildern bezeichnet er als Artefakte, die durch Verschiebungen und Abwinkelungen der Gallenwege bedingt sind.

Die Pars intramuralis des Ductus choledochus verdient aus zwei Gründen unser besonderes Interesse. Erstens findet hier die Vereinigung des Gallenweges mit dem Pankreasgang statt, wobei eine Reihe von Variationen auftreten und zweitens ist diese gemeinsame Endstrecke von einem kompliziert gebauten, muskulösen Sphinktersystem eingehüllt, das die Füllung der Gallenblase bewirkt und den Austritt der Galle und der Pankreasenzyme reguliert.

Eine Reihe von Autoren, Clairmont 1920 (24), Holzapfel 1930 (58), Mehnen 1938 (83), Näätänen 1942 (86) und Millbourn 1950 (84) haben die anatomischen Variationen der Vereinigung von Gallen- und Pankreasgang aufgezeigt und deren Häufigkeit bestimmt. Es lassen sich drei wesentliche Typen unterscheiden. Der Ductus pancreaticus major (Wirsung) ist in etwa 90% der funktionell entscheidende Ausführgang des Pankreas. Er mündet in den häufigsten Fällen mit variierendem Abstand von der Papilla Vateri in den Choledochus. Im Versuch an der Leiche konnte bei diesem Typ I, der in verschiedenen Formen ausgebildet sein kann (siehe Abb. 3), stets ein bilopankreatischer Reflux beobachtet werden. Nur selten bleibt die Vereinigung von Choledochus und Wirsungschen Gang aus. Sie haben dann keine gemeinsame Endstrecke, aber eine gemeinsame Mündung in der großen Papille (Typ II). Bei 10% findet man den Ductus pancreaticus minor (Santorini) als Hauptausführgang der Bauchspeicheldrüse. Jetzt erreichen Gallen- und Pankreasgang an zwei verschiedenen Stellen das Darmlumen. Meist ist bei diesem Typ III ein kleiner Wirsungscher Gang auch ausgebildet, der

nach Art von Typ I oder II mit dem Choledochus in Beziehung tritt; manchmal fehlt er auch völlig.



Abb. 3 Die Mündung des Ductus choledochus und pancreaticus in das Duodenum

- I a Choledochus und Ductus pancreaticus major münden in eine gemeinsame Ampulle;
- I b eine Ampulle fehlt; die beiden Gänge vereinigen sich kurz vor der Mündungsöffnung;
- I c eine Ampulle fehlt ebenfalls; durch eine frühere Vereinigung der beiden Gänge ist das gemeinsame Endstück länger;
- II die beiden Gänge bleiben bis zur Mündung getrennt;
- III Ductus pancreaticus minor ist der Hauptausführungsgang des Pankreas; Ductus pancreaticus major (gestrichelt gezeichnet) kann fehlen.

Für die Theorie der Entstehung von Erkrankungen des Pankreas und des Gallenwegssystems war es schon immer bedeutsam, ob Flüssigkeit aus dem einen System in das andere übertreten kann. Wie schon oben betont ist dies im "Normalfall", d.h. beim Typ I, an der Leiche stets möglich. Dieser Befund kann jedoch nicht ohne weiteres auf den Lebenden übertragen werden, da hier die Tätigkeit des Sphinktermuskels den Vorgang noch entscheidend beeinflusst.

Wo der Ductus choledochus in die Darmwand mündet, sieht man in histologischen Schnitten die ersten Ausläufer des Muskels von Oddi. Sie legen sich außen auf die fibromuskuläre Wand des Choledochus und bleiben völlig von der oben beschriebenen glatten Muskulatur des Ganges getrennt. Während die Muskelfasern des Hepatocholedochus also mit dem Oddischen Sphinkter kaum

Verbindungen aufweisen, tritt die Darmmuskulatur an vielen Stellen in enge Beziehung zu diesem Muskelsystem. Die Verflechtung ist so innig, daß die anatomische und physiologische Unterscheidung eines eigenständigen Sphinkters von der benachbarten Darmmuskulatur noch ein halbes Jahrhundert nach der ersten Beschreibung der Mündungsverhältnisse durch Oddi (90) umstritten war. Erst Untersuchungen von Schwelger und Boyden (110) am menschlichen Feten konnten nachweisen, daß die Sphinktermuskulatur etwa 5 Wochen später als die Darmmuskulatur in Erscheinung tritt und daß sie unmittelbar vom Mesenchym abstammt.

Gallenweg und Pankreasgang erreichen durch einen Hiatus in der Längsmuskulatur und ein querovales Fenster in der zirkulären Muskulatur des Darmes dessen Lumen. Die große Zahl der Muskelbündel, die von den Rändern der Muskelöffnung abscheren und sich mit der eigentlichen Sphinktermuskulatur verflechten, dient in erster Linie der Verankerung der Gänge am Darm (connecting and reinforcing bands). Ihr Aufbau ist von Fall zu Fall recht unterschiedlich, während der Oddische Sphinkter selbst eine relativ gleichbleibende Konstruktion aufweist. Sein kräftigster Anteil ist der Sphinkter choledochus proprius (siehe Abb. 4), der nach der Beschreibung Boydens (20, 21) in schwachen zirkulären Touren extramural beginnt, auf Höhe des ovalen Fensters seine größte Dicke erreicht und sich von dort als eine 6 mm lange, kräftige Muskelmanschette bis zum Zusammenfluß der Gänge erstreckt. Münden die beiden Gänge getrennt (Typ II), dann verdünnt sich der Sphinkter choledochus proprius gegen die gemeinsame Papille hin und endet 2 mm vor der Öffnung.

Auch den Ductus Wirsungianus hüllen zirkulär verlaufende Muskelbündel ein, die als Sphincter pancreaticus zusammengefaßt werden. Er ist stets dünner und kürzer als der Muskelmantel um den Choledochus.

Beim Feten findet man immer eine Ampulla Vateri, aber häufig fällt sie im Laufe der Entwicklung der Rückbildung anheim. Die Muskulatur, die die fetale Ampulle umkleidet, bleibt jedoch in allen Fällen bestehen und wird zum Sphincter ampullae, wenn die gemeinsame, erweiterte Endstrecke der Gänge persistiert, zum Sphincter papillae, wenn die Röhren getrennt endigen.

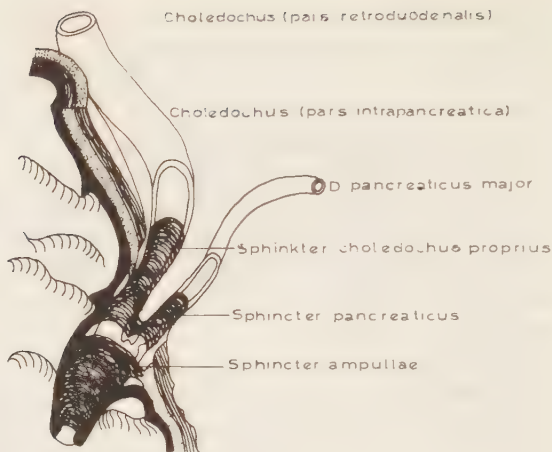


Abb 4 Schematische Darstellung des Sphinkter Oddi

Das Pankreas ist nicht dargestellt, um eine bessere Übersicht zu erreichen (nach Boyden 1941).

Völliges Verständnis der Funktion der Pars intramuralis des Choledochus gewinnt man nur, wenn man neben der muskulären Konstruktion auch das Schleimhautrelief beachtet. Die glatte Innenseite des Choledochus geht in der Ampulle in quer verlaufende Schleimhautfalten unterschiedlicher Höhe über, die gegen die Papille offene Taschen ausbilden. Längs verlaufende Frenula verbinden die einzelnen Klappen, so daß eine Art Jalousiemechanismus entsteht. Holle (57) beschreibt, daß eine gestaffelte Barriere gegen den Rückstrom von Darminhalt errichtet wird, wenn man mit einer feinen Sonde eine der Klappen aufstellt. Die Vorrichtung kann nicht nur das Eindringen von Darminhalt, sondern auch den Reflux des Sekretgemisches in die beiden Ausführungsgänge verhindern. Münden beide Gänge getrennt in einer Papille (Typ II), so rücken gewissermaßen alle Klappen an die Mündungsstelle und bilden dort ein kohlkopffartiges Ventil, das in das Darmlumen hineinragt. Faltet man die einzelnen Blätter auseinander, so erkennt man auch hier die Frenula und damit die grundsätzliche Übereinstimmung der biotechnischen Einrichtung.

C. Der akzessorische Gallenweg

Dem Hauptgallenweg, der unmittelbaren Verbindung von Leber und Darm, ist eine blind endende Seitenstraße angeschlossen, der akzessorische Gallenweg, aus Ductus cysticus und Vesica fellea bestehend.

Die birnenförmige Gallenblase liegt im Bereich des rechten Leberlappens, rechts vom Lobus quadratus in der Fossa vesicae felleae. Ihre Facies superior ist durch zartes Bindegewebe an die Facies visceralis hepatis fixiert, während die übrigen zwei Drittel der Gallenblasenoberfläche von Serosa bedeckt werden. In seltenen Fällen hat das Organ seine enge Bindung an die Leberunterseite aufgegeben und ist in ganzer Länge beweglich geworden, aufgehängt an einem Mesocysticum (Pendelgallenblase). Der am weitesten nach ventral reichende Teil des Gallenspeichers, meist allseitig von Peritoneum überzogen und damit frei entfaltbar, wird Fundus genannt. Bei 70% der Erwachsenen überragt er um 10 - 15 mm den Leberrand. Gewöhnlich ist dabei die Gallenblase bis zum Margo inferior an die Leber fixiert, so daß nur der hervorragende Teil zur Kuppel gehört. In wenigen Fällen wird sie jedoch dadurch verlängert, daß das Bauchfell die Vorderseite des Hohlorgans über die Leberkante hinauf bedeckt und mit dem Überzug der Leberunterseite einen Recessus hepatocysticus ausbildet. Schließt der unterste Gallenpol mit der Leberkante gerade ab, so wird durch die Ausbildung des oben genannten Recessus stets ein allseitig von Peritoneum überzogener Fundus angetroffen. Nur in 17% erreicht die Gallenblase den Leberrand nicht. Hier kommt es in seltenen Fällen vor, daß kein beweglicher Fundus vorhanden ist. Diese von Nuboer (89) gegebene Dreiteilung darf nicht allzu starr gesehen werden, denn durch unterschiedliche Füllungen der dehnbaren Blase kommen fließende Übergänge vor.

Ohne scharfe Grenze geht der Fundus in das Korpus über, jener Abschnitt, der, fest mit der Leber verbunden, die geringste Beweglichkeit aufweist. Wo sich die Gallenblase vom Leberbett leicht abhebt und von zwei Peritonealblättern umschlossen wird, beginnt das Infundibulum. Es verjüngt sich nach oben und setzt sich im Kollum fort, von ihm durch die sog. erste Hals- oder Initialfalte klar abgegrenzt. Dieser Übergang ist außerdem durch den Trichter-Hals-Knick, eine Abwinkelung der Gallenblase

nach rechts oben, markiert. Drei bis fünf parallel gestellte, senkrecht zum Kollum verlaufende Falten wölben sich mehr oder weniger weit in dessen Lumen vor. Die Initial- und Terminalfalte sind konstant, während die dazwischen liegenden Intermediärfalten wechseln.

Die gesamte Gallenblase, aus Fundus, Korpus, Infundibulum und Kollum bestehend, schwankt in ihren Ausmaßen und damit in ihrem Fassungsvermögen beträchtlich. Teilweise ist das wohl auf unterschiedliche Füllungszustände zurückzuführen, doch erklärt es die Unterschiede nicht ganz. Es muß angenommen werden, daß die Größe der Gallenblase von Individuum zu Individuum innerhalb ziemlich weiter Grenzen variiert (siehe Tabelle)

Maße der Gallenblase (nach Nuboer)

	Gemessene Werte	Durchschnitt
Länge	4,0 - 13,5 cm	7,6 cm
größte Breite	1,8 - 5,0 cm	3,2 cm
größte Höhe	1,0 - 4,0 cm	2,7 cm

Der Gallenspeicher faßt gewöhnlich 25 - 50 ml, seine Dehnungsfähigkeit ist jedoch so groß, daß bis zu 200 ml Flüssigkeit aufgenommen werden können.

Am Übergang vom Kollum zum Ductus cysticus ändert der akzesorische Gallenweg zum 2. Mal deutlich seine Richtung und verläuft nun nach links unten hinten. Im Ganglumen findet man an diesem Kollum-Zystikus-Knick die Terminalfalte des Halses, die häufig mit den wirr sich kreuzenden Klappen der Pars valvularis des Zystikus in Verbindung steht. Klar können jedoch die Zystikusfalten, die in ihrer Gesamtheit ein schraubenförmig gewundenes Gebilde darstellen (Valvula spiralis Heisteri), von den Klappen des vorhergegangenen Gangabschnittes unterschieden werden, da sie im Gegensatz zu jenen nicht parallel verlaufen. Mit abnehmender Entfernung vom Hepatikus verstreichen die Klappen allmählich, so daß nur noch Andeutungen in Form von flachen Leisten übrig bleiben (Pars glabra).

Die wechselvolle Vereinigung von Hepatikus und Zystikus (siehe Abb. 5) bedingt, daß bei letzterem Längen von 0,6 - 6,5 cm gemessen werden, wobei der Durchschnitt bei 3,2 cm liegt.

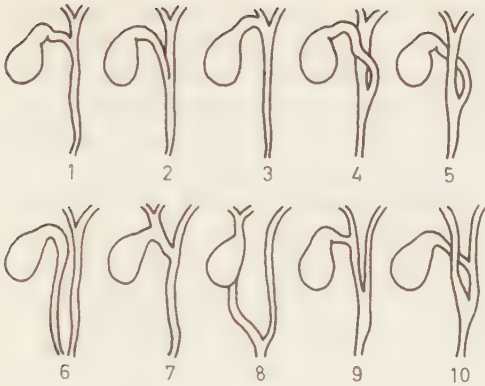


Abb. 5 Varianten des Ductus cysticus (nach Hess)

1 sog. Normalfall; 2 tiefe Zystikusmündung; 3 hohe Zystikusmündung in den D. hepaticus dexter; 4 und 5 vorderer und hinterer Spiralverlauf; 6 selbständige Mündung des Zystikus ins Duodenum (sehr selten); 7 Mündung des D. hepaticus dexter ins Infundibulum; 8 Gallenblase ist als Divertikel des rechten Hepaticus ausgebildet, ein eigentlicher Zystikus fehlt; 9 Mündung des Zystikus in den Hepaticus dexter bei tiefer Gabelung der Hepatizi; 10 Mündung des Zystikus in den D. hepaticus sinister.

Wenden wir uns nun dem histologischen Aufbau des akzessorischen Gallenweges zu.

Einschichtiges, hochprismatisches Epithel überzieht in der Gallenblase ein Netz von mehr oder weniger hohen Primärfalten, die polygonale Kammern begrenzen, auf deren Boden sich ein sekundäres Faltenwerk aufwirft. Dieses Faltenrelief, von einem subepithelialen, lockeren, kapillarreichen Bindegewebe gebildet, ändert seine Höhe mit wechselndem Dehnungszustand des Hohlorgans ebenso wie die Epithelzellen. Ferner (36) fand Höhen der Deckenzellenschicht zwischen 20 und 52 μ . Die zwei Funktionen der Gallenblasenschleimhaut können durch morphologische Befunde belegt werden. Der niedrige Saum von Mikrovilli, den die Epithelzellen tragen, dürfte der Resorption dienen, während körnige Schleimvorstufen in Apex und Zentrum der gleichen Zellen auf deren sekretorische Leistung hinwei-

sen. Unmittelbar vor der Schleimabgabe wird der Stäbchensaum eingeschmolzen (36). Die zurückbleibenden, sekretleeren Zellen mit ihren dunkel gefärbten Leibern und stäbchenförmigen Zellkernen werden Stiftzellen genannt. Becherzellen findet man in der gesunden Gallenblase selten, in Steingallenblasen und entzündlich alterierten dagegen häufig.

Unter der subepithelialen Bindegewebsschicht breitet sich eine schmale Lage glatter Muskulatur aus, die einer Muscularis mucosae entspricht, aber, wie Schreiber (108) betont, ein umgebauter Abkömmling derselben ist. Daran schließt sich ein fettreiches, lockeres Bindegewebe, die Fibrosa, die teils mit der Leberkapsel verwachsen, teils mit Serosaepithel bedeckt ist.

In allen Gallenblasen finden sich Epitheleinstülpungen, die die genannten Gewebsschichten durchdringen und bis in die Fibrosa reichen. Ihre Benennung in der Literatur ist etwas uneinheitlich; teils werden sie Luschkasche Gänge, teils Aschoff-Rokidansky Sinus genannt. Pfuhl (97) sieht einen wesentlichen Schlüssel zum Verständnis dieser Buchten darin, daß sie stets im Zusammenhang mit Gefäßen stehen, die aus der Fibrosa durch Muskellücken in die subepitheliale Schicht eintreten. An diesen Stellen ist das Epithel mit der Fibrosa besonders fest verbunden, so daß bei Kontraktionsfaltung der Schleimhaut tiefe Buchten entstehen müssen. Bei krankhaften Stauungen in der Gallenblase wirken diese Muskellücken als Locus minoris resistentiae und es entstehen bauchige Erweiterungen der Gänge.

Auf zwei Unklarheiten muß in diesem Zusammenhang hingewiesen werden, die man häufig in der Literatur antrifft. Erstens dürfen die oben beschriebenen Sinus nicht mit den mucoiden Drüsen der Gallenblase verwechselt werden, die in erster Linie nahe dem Halse vorkommen, während die Aschoffschen Buchten über das ganze Organ verteilt sind. Eine zweite Ursache für Verwechslungen gründet darauf, daß zuweilen aberrierende Gallengänge als "echte Luschkasche Gänge" bezeichnet werden. Sie kommen aus der Leber, verlaufen oberflächlich in der Fibrosa, oft dicht unter der Serosa und haben meist keinen Zusammenhang mit dem Gallenblasenlumen (Halpert (50), Haberland (49)).

Die Muscularis der Gallenblase ist neben anderen Faktoren ent-

scheidend für die Entleerung der gespeicherten Galle. Das Konstruktionsprinzip dieses Muskelmantels, der beim Menschen im Vergleich zu vierfüßigen Säugetieren mit gleichem Gallenreservoir nur schwach entwickelt ist, wurde lange nicht erkannt und so bezeichnete man ihn als plexiform. Schreiber (108, 109) konnte nachweisen, daß in der räumlichen Anordnung der Muskelfasern durchaus ein klar erkennbarer Plan verwirklicht ist. Zwei ineinander übergehende Scherengitter bauen die gesamte Muscularis auf, die damit eine muskuläre Einheit darstellt (siehe Abb. 6).



Abb. 6 Schematische Darstellung des Muskelgefüges der menschlichen Gallenblase (nach Schreiber 1941)

Von dem längs eingestellten, inneren Muskelgitter wurden, der Übersicht wegen, nur jene Fasern gezeichnet (dicke, schwarze Striche), die von den linksgängigen, oberflächlichen Wicklungen abscheren.

Die äußere Schicht wird durch zwei spiralgig verlaufende, von rechts und links kommende Muskelzüge gebildet. Wegen ihrer geringen Steighöhe, die zum Fundus hin allerdings zunimmt,

kreuzen sie sich unter stumpfen Winkeln, wobei sie an den Schnittpunkten ineinander übergehen. So wird das schleimhautferne, flachschräge Gitter aus querstehenden, rhombischen Maschen zusammengesetzt. Aus den oberflächlichen, rechts- und linksgängigen Wicklungen scheren vom Infundibulum an abwärts Längsbündel ab, die sich um den Fundus der Gallenblase herum-schlingen und an der gegenüberliegenden Wand wiederum in das oberflächliche Gitter einstrahlen. Durch entsprechende Überschneidungen dieser Fasern entsteht ein inneres, längs eingestelltes, rhombisches Maschenwerk, aus dem kleine Muskelbündelchen in die benachbarte Subepithelialis abzweigen, die mit elastischen Fasern dort verankert werden. Kontrahiert sich der beschriebene Muskelapparat, so verkleinert sich der Blasen-durchmesser und der Fundus wird, da die Gallenblase im Leberbett fixiert ist, durch die longitudinalen Schlingen gehoben. Diese Vorstellung steht mit röntgenologischen Beobachtungen der Gallenblasenkontraktion im Einklang.

Der Aufbau der muskulären Elemente im Bereich der Kollum- und Zystikusfalten bedarf noch einer Betrachtung. Die im Halsbereich vorwiegend zirkulär verlaufenden Muskelbündel häufen sich an der Basis der Kollumklappen. Sie werden gegen den freien Rand der Falten feiner und kommen weiter auseinander zu liegen. Daneben findet man wenigstens in den größten Klappen vereinzelt longitudinale kleine Bündel, jedoch stark in der Minorität. In der proximalen Hälfte der Valvula spiralis dagegen ist das spärlich vorhandene Muskelkleid völlig ungeordnet. Der distale Rest des Zystikus ist praktisch muskelfrei.

Physiologisch ist eine Druckdifferenz zwischen Gallenblase und Choledochus nachweisbar, die durch ein Verschlusssystem an der Kollum-Zystikus-Grenze hervorgerufen wird. Luetkens (80) hat 1926 in diesem Gebiet einen muskulären Sphinkter beschrieben, spätere Untersuchungen konnten jedoch lediglich eine recht variable Vermehrung von Muskelfasern nachweisen. Sieht man aber die rein muskuläre Komponente im Zusammenhang mit dem Klappensystem und dem Kollum-Zystikus-Knick, so kommt man zur Auffassung, daß es sich hier weniger um einen Sphinkter im anatomischen als vielmehr im physiologischen Sinne handelt, um ein valvulomuskuläres Kollum-Zystikus-System (54).

Vom beschriebenen Bild des akzessorischen Gallenweges weichen

eine Reihe von anatomischen Varianten ab. Das völlige Fehlen der Gallenblase (Agenesie), sowie ihre Verdoppelung (Vesica fellea duplex), die durch zwei Gallenblasen mit je einem eigenen Ausführgang gekennzeichnet ist, sind sehr seltene Befunde (1:8000 bzw. 1:4000). Eine besondere Form der doppelten Gallenblase stellt die Vesica fellea divisa dar, bei der die beiden Gebilde von einer einheitlichen Seromuscularis überzogen sind. Das Blasenlumen ist durch ein Längsseptum vom Fundus bis zum Kollum geteilt. Teilduplikationen des Organs können als echte Gallenblasendivertikel imponieren; sie dürfen jedoch nicht mit den weit häufigeren, hypertrophischen Aschoff-Rokidansky-Sinus verwechselt werden. Relativ häufig (1:800) findet man transversale bzw. zirkuläre Septenbildungen, die, meist gegen den Fundus zu gelegen, einen Teil der Blashöhle mehr oder weniger vollständig abtrennen. Sind die in das Lumen vorspringenden Leisten nur angedeutet, so spricht man von einer Trabekelgallenblase. Die weitaus häufigste und bedeutungsloseste Mißbildung ist die sog. "phrygische Mütze", die durch eine Abknickung der Spitze des Fundus zustande kommt. Die bisher beschriebenen Abweichungen von der Norm sind im Röntgenbild gut nachweisbar. Eine teilweise oder totale intrahepatische Lage der Gallenblase (Parenchymgallenblase) dagegen, die als Hemmungsmißbildung aufzufassen ist, kann röntgenologisch nicht diagnostiziert werden.

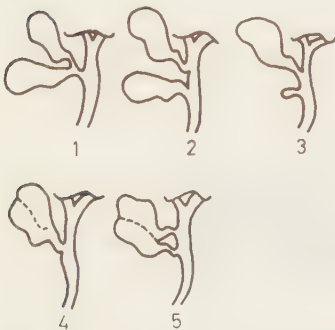


Abb. 7 Verschiedene Formen von doppelten Gallenblasen (nach Hess)

1 doppelte Gallenblase mit gemeinsamen Zystikus; 2 doppelte Gallenblase mit zwei selbständigen Zystikis; 3 doppelte Gallenblase, wovon eine rudimentär; 4 Septumgallenblase; 5 äußerlich verschmolzene, doppelte Gallenblase mit zwei Ductus cystici.

D. Die Topik der Gallenwege

Neben dem Aufbau des Gallenwegssystems, der in den vorher ge-

gangenen Abschnitten dargestellt wurde, interessiert den Röntgenologen dessen Lage im Gesamtorganismus, d.h. die Projektion auf und den Abstand von der Körperoberfläche und die Beziehungen zu benachbarten Organen.

Der Gallenblasenfundus projiziert sich ungefähr an der Spitze der 10. Rippe bzw. an der Stelle, wo der rechte Rektusrand den Rippenbogen schneidet, auf die Bauchwand. Dies entspricht etwa der Höhe des 3. Lendenwirbels. Medial und kranial davon, auf Höhe des 11. Brustwirbeldornfortsatzes, liegt der Projektionspunkt des Kollum. Die Gallenblasenachse verläuft demnach schräg zur Sagittalebene, aber auch schräg zur Frontalen, denn die Facies visceralis der Leber, der die Gallenblase anliegt, erstreckt sich von ventral unten nach dorsal oben, sie blickt nach kaudal und dorsal.

Die Lage des Gallenspeichers wird weitgehend durch die Leber bestimmt, die durch ihre Fixation an das Zwerchfell gezwungen ist, der Atembewegung zu folgen. Bei tiefer Expiration sinkt die Hepar wie ein Stempel in das Hypochondrium zurück, wobei es gleichzeitig zu einer Kippbewegung um die frontale Achse kommt. Der scharfe Rand der Leber schwenkt nach dorsal, die Facies visceralis wird steil gestellt und blickt nun mehr nach dorsal als kaudal (siehe Abb. 8). Das Röntgenbild zeigt die mit Kontrastmittel gefüllte Gallenblase jetzt als Längsoval.

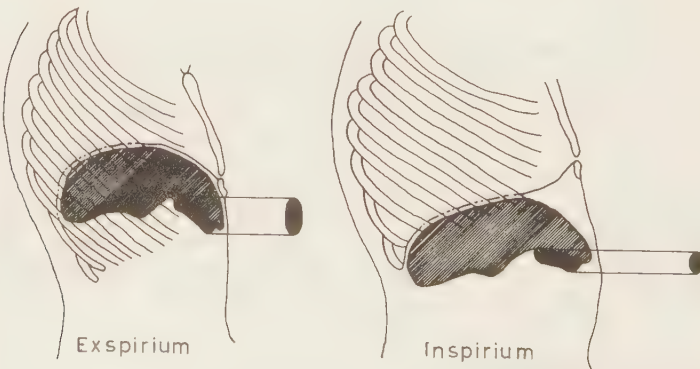


Abb. 8 Lageveränderung der Leber und Gallenblase durch die Atembewegung

Im Inspirium tritt die Leber tiefer; die untere Thoraxapertur wird gehoben und erweitert, die Bauchwand wölbt sich vor. Die ventral sich erweiternde Bauchhöhle erlaubt ein Vorklappen der Margo inferior hepatis, wodurch es zu einer Querlage des Organs kommt. Die Facies visceralis blickt nun vermehrt nach kaudal, der Projektionsschatten der Gallenblase wird annähernd kreisrund und klein (siehe Abb. 8). Die Fundushöhe variiert im Laufe der Atembewegung um etwa 2 cm. Die eben beschriebenen Lageveränderungen bedürfen einer gewissen Einschränkung. Nur dann ist mit einem Leberhochstand (Exspirium) auch eine Steillage und mit einem Tiefstand eine Querlage verbunden, wenn die Formen und Bewegungen der Umgebung normal sind. Bei einem Lebertiefstand, bei dem die Erweiterung der unteren Brustkorböffnung fehlt, wie wir es beim Pleuratrasssudat finden, kommt es zu keiner Querstellung; umgekehrt kann Meteorismus oder Aszites einen Leberhochstand mit gleichzeitiger Querlage hervorrufen (96).

Vom Kollum ab verläuft der Gallenweg nach kaudal und leicht medial, wodurch er sich mehr und mehr dem Projektionsschatten der Wirbelsäule nähert. Der Abstand der Gallenwege von der vorderen Körperoberfläche vergrößert sich vom Kollum ab kaum mehr. Die Vatersche Papille liegt gewöhnlich auf Höhe des Fundus etwa 3 cm rechts von der Medianlinie.

Zahlenmäßige Angaben über die Entfernung der einzelnen Gallengangsabschnitte von der ventralen Körperoberfläche sind wegen der Verschiedenheit der Körperbautypen, der stark variierenden Ausbildung des Panniculus adiposus und der sich ändernden Lage der Leber kaum zu geben. Folgende Faktoren können jedoch festgehalten werden. Die gesamten extrahepatischen Gallenwege sind in der ventralen Hälfte der Körpermasse lokalisiert. Daraus ergibt sich für die röntgenologische Darstellung, bei der man stets einen möglichst kleinen Objekt-Bild-Abstand zu erreichen sucht, ein posteroanteriorer Strahlengang. Das Kollum ist etwa 4 - 6 cm weiter von der Bauchwand entfernt als der Fundus; ebenso verhält sich die Vatersche Papille.

Fundus und Korpus der Gallenblase haben unmittelbaren Kontakt mit dem Colon transversum, Infundibulum und Kollum berühren das Duodenum. Auf die enge Nachbarschaft der Wirbelsäule wurde bereits hingewiesen. Um eine Überlagerung der Gallenwegsschat-

ten durch das Rückgrat im Röntgenbild zu vermeiden, hebt man die rechte Seite des sich in Bauchlage befindlichen Patienten leicht an.

II. Physiologie der Gallenwege

A. Die Gallenproduktion

Unter den zahlreichen Funktionen der Leber ist die Produktion der Galle, die durch ihren Gehalt an Gallensäuren, Cholesterin und Gallenfarbstoffen charakterisiert ist, eine der wichtigsten. Täglich werden zwischen 350 und 1000 ml, im Durchschnitt 700 ml (101) dieses Sekrets und Exkrets in einem kontinuierlichen, aber nicht gleichmäßigen Fluß abgegeben. Die großen Differenzen zwischen den in der Zeiteinheit gebildeten Gallenvolumina werden in erster Linie durch die diskontinuierliche Nahrungsaufnahme bedingt. Speisebrei im Duodenum löst durch einen Mechanismus, der später besprochen wird, die Entleerung der gespeicherten Galle in das Darmlumen aus. Da die Gallensalze, die jetzt vermehrt mit der Dünndarmschleimhaut in Berührung kommen, zu 90% resorbiert werden, steigt deren Gehalt im Blut der V. portae. Ein erhöhtes Angebot von Gallensalzen an die Leber, sei es durch Rückresorption oder durch eine intravenöse Injektion hervorgerufen, bewirkt eine verstärkte Ausscheidung dieser organischen Säuren und damit einen vermehrten Gallenfluß. Ein auf Hochtouren laufender enterohepatischer Kreislauf ist unter physiologischen Bedingungen die wichtigste Ursache, die die Gallensekretion während einer Verdauungsphase anschwellen läßt (31, 82, 132).

Bayliss und Starling (7) haben 1902 ein Hormon entdeckt, das sie Sekretin nannten. Es wird von der Duodenalschleimhaut an das Blut abgegeben, wenn salzsäurehaltiger Mageninhalt sich in den Zwölffingerdarm ergießt. Neben seiner Hauptwirkung auf das Pankreas ruft Sekretin auch eine Anregung der Gallenbildung hervor. Die gleichzeitige Stimulation von Bauchspeicheldrüse und Leber durch dasselbe Hormon wird verständlich, wenn man an die enge onto- und phylogenetische Verwandtschaft dieser beiden Organe denkt. Allerdings wird durch Sekretin die Gallenproduktion nur mengenmäßig erhöht, die Abgabe von Gallen-

salzen und -pigmenten bleibt dagegen unbeeinflusst. Grossmann und Mitarbeiter (47, 48) bezeichneten deshalb den Wirkstoff als Hydrocholeretikum. Wohl können schon kleine Dosen jenes Hormons den Gallenfluß verstärken, es ist aber anderseits nie in der Lage die Produktionssteigerung auszulösen, wie es die Gallensalze vermögen. Untersuchungen von Friedman und Snape (39) ließen die Vermutung aufkommen, daß neben dem Sekretin ein spezifisch auf die Leber wirkendes Hormon (Hepatokrinin) existiert. Dies konnte bisher nicht bestätigt werden. Klar ist jedoch, daß selbst die reinsten Sekretinpräparate, die man bisher gewonnen hat, einen hydrocholeretischen Effekt zeigen.

Außer den beiden humoralen Regelmechanismen steuert auch das vegetative Nervensystem die Gallenherstellung. Eiger (33) konnte durch Versuche an Hunden schon 1916 nachweisen, daß eine intrathorakale Reizung der Nervi vagi unterhalb des Abganges der Fasern, die dem Herzen zustreben, nicht nur die Flüssigkeitsmenge in der Galle, sondern auch deren Trockensubstanz vermehrt. Tanturi und Ivy (122) haben nach Durchschneidung der Halsvagi, Abbinden des Ductus cysticus, Einlegen einer Kanüle in den Ductus choledochus und anschließender Vagusreizung eine Zunahme des Gallenflusses bei Hund und Affe registriert. Bei Katze und Kaninchen konnte dieser Effekt nicht gesehen werden. Daß es sich bei der sekretorischen Wirkung tatsächlich um einen vagalen Einfluß handelte wurde durch die Einstellung der Stimulation bei Atropingabe bewiesen.

Nach Forsgren und Jores (37, 38, 67, 68) sollen die Tageschwankungen in der Gallenproduktion nicht allein durch die Speiseaufnahme, sondern auch durch einen, der Leber eigenen, von Nahrungszufuhr unabhängigen Rhythmus hervorgerufen werden, in dem sich assimilatorische und dissimilatorische Phasen abwechseln. In der nächtlichen, assimilatorischen Phase enthalten die Leberzellen vermehrt Glykogen und nur wenige Gallengrannula; erreicht um etwa zwei Uhr mittags die dissimilatorische Phase ihren Höhepunkt, so sind die Leberläppchen mit Gallenvorstufen vollgestopft, während Glykogen nur in äußerst spärlicher Menge vorkommt. Nicht erwiesen ist, ob dieser "lebereigene" Rhythmus nicht doch durch Eßgewohnheit eingeprägt wurde und bei Änderung des Schemas der Nahrungszufuhr nach einiger Zeit auslaufen und sich den neuen Gegebenheiten anpassen würde.

In den Verdauungsphasen erreicht die Gallenproduktion wohl ihre Maxima, aber auch zu den Zeiten, wo keine Galle im Darm benötigt wird, sezerniert die Leber, wenn auch in geringerem Umfang, weiter. Das jetzt anfallende Sekret wird in der Gallenblase gespeichert. Da sie jedoch mit ihrem Volumen von etwa 50 ccm im Verhältnis zur angebotenen Flüssigkeitsmenge relativ klein ist, muß, damit die Speicherleistung sich erhöht, die Galle eingedickt werden. Resorption von Wasser, Natrium-, Kalzium-, Chlor- und Hydrogenkarbonationen macht aus der hellen, goldgelben Lebergalle mit ihrem spezifischen Gewicht von 1,007 die dunkle, grünbraune bis pechschwarze Blasengalle, deren Dichte zwischen 1,010 und 1,043 (124) schwankt. Unter normalen Umständen werden Cholesterin, die Gallensäuren und -farbstoffe nicht oder nur in vernachlässigbar kleinen Mengen von der Blasenschleimhaut aufgenommen, so daß der Gehalt dieser Stoffe um das 4 - 10 fache ansteigt (31, 101). Die Konzentrationsfähigkeit des Gallenspeichers ist auch eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der peroralen Cholecystographie.

Schon bei der Betrachtung des Aufbaus des Gallenblasenepithels wurde darauf hingewiesen, daß es morphologische Befunde gibt, die eine sekretorische Tätigkeit der Schleimhaut erwarten lassen. Birch und Spong (16) haben über längere Zeit zwei Patientinnen mit Cholecystostomie und völlig verschlossenem Ductus cysticus beobachtet. Sie fanden, daß täglich von jeder der beiden Gallenblasen, deren Mucosa im großen und ganzen als normal anzusehen war, etwas mehr als 20 ml einer mucösen, leicht alkalischen, nahezu farblosen Flüssigkeit abgegeben wurde. Dieses Sekret, Mucin genannt, vergrößert die Viskosität der Galle und wirkt stabilisierend auf die in ihr kolloidal gelösten Bestandteile, besonders auf das Cholesterin. Um die Sekretion weiterer Blasengallenbestandteile herrscht noch keine völlige Klarheit. Sicher setzt die gesunde Mucosa der gespeicherten Galle weder Cholesterin noch Gallensalze zu. Unter bestimmten pathologischen Bedingungen ist jedoch eine Sekretion von Cholesterin und Kalziumionen nicht ausgeschlossen (101, 100).

Jene Kräfte, die die Galle vom Ort ihrer Bildung zu dem ihrer Wirkung bzw. Speicherung bringen und jene Steuereinrichtungen, die Ausscheidung oder Aufbewahrung bewirken, seien jetzt näher

untersucht. Ein Sekretionsdruck von 250 bis 300 mm Wasser sorgt für einen steten Fluß in den Gallenkapillaren; im Hauptgallenweg werden dagegen nur noch 100 bis 150 mm H_2O gemessen. Der rasche Druckabfall, notwendig, da im Hepatocholedochus eine Hypertension von 270 bis 300 mm H_2O kolikartige Schmerzen, Übelkeit und Erbrechen hervorruft, wird entweder durch eine schnelle Einleitung der Galle in das Duodenum oder durch die Füllung und Resorptionstätigkeit der Vesica fellea erreicht, wobei die ersten beiden Vorgänge von der Tätigkeit des Muskelapparates am Ende des Choledochus beeinflußt werden. Während in jenen Perioden, in denen keine Verdauungsarbeit geleistet wird, der Sekretionsdruck der Leber der entscheidende Motor des Gallenflusses ist, übernimmt in den Digestionsphasen, besonders nach fett- und eiweißreichen Mahlzeiten, die Gallenblase mit ihrem Kontraktionsdruck von 200 bis 300 mm H_2O (46) die wesentliche Rolle. Somit bedürfen zwei Faktoren, die für die Cholekinese mitverantwortlich sind, noch einer näheren Darstellung: die Tätigkeit des Sphinkter Oddi und der Entleerungsmechanismus des Gallenspeichers.

B. Physiologie des Sphinkter Oddi

Das Wirken des Oddischen Muskelsystems wird auch heute noch vielfach als ein starrer Öffnungs- und Schließvorgang gesehen, der Funktion eines Wasserhahnes vergleichbar, der, entweder geschlossen jeglichen Durchfluß verhindert oder je nach Öffnungsweite einen mehr oder weniger kräftigen Strahl abgibt. Bernhard (11) konnte durch Serienröntgenographie nachweisen, daß diese Vorstellung zu einfach ist. Er sah am intramuralen Abschnitt des kontrastierten Choledochus ständig rhythmische Formänderungen, konnte aber keine einwandfreien Vorstellungen von diesen Bewegungsabläufen gewinnen, da sie für seine Untersuchungstechnik zu schnell waren. Erst röntgenkinematographische Aufnahmen der Gallenwege erfaßten die Vorgänge deutlich. So beobachtete Hess (54) wie sich zunächst der Sphincter choledochus proprius öffnet, die Ampulle sich füllt und bläht, dann der Sphincter ampullae erschlafft und die Kontrastgalle ins Duodenum stürzt. Eine Kontraktion entleert die letzten Flüssigkeitsreste, worauf sich von unten nach oben der gesamte Muskelapparat schließt. Einen Augenblick bleibt der

Sphinkter kontrahiert, bald jedoch öffnet sich der obere Anteil aufs neue und der Ablauf der Peristaltik wiederholt sich. Öffnungs- und Schließungsphase nehmen zusammen etwa 5 bis 8 Sekunden in Anspruch und lösen gewöhnlich ständig einander ab. Nach Hess wird zwar eine völlige Ruhe der Papille gesehen, aber nur selten und kaum für längere Zeit. Hornykiewytsch (61) bemerkte dagegen in Versuchen an Hunden nach jeder Ausschüttung ein zwei- bis dreiminütiges bewegungsfreies Intervall. Er betont aber gleichzeitig, daß diese zeitlichen Relationen durch die Narkose der Versuchstiere bedingt sein können und nicht mit physiologischen Gegebenheiten übereinstimmen müssen.

Mit den Formänderungen des intramuralen Choledochusteils gehen synchrone Lumensänderungen des Zwölffingerdarms einher. Bei deutlichem Schluß des Sphinktersystems sind die papillennahen Duodenalabschnitte maximal eng gestellt. Sie weiten sich kräftig, wenn der Schließmuskel geöffnet ist und bieten so der einströmenden Galle Platz (45).

Die Regulation des Gallenflusses wird durch die Änderung des zeitlichen Anteils von Öffnung und Schluß in der Sphinkterbewegung ermöglicht, d.h. die Volumina der abgegebenen Einzelportionen sind veränderlich, ihre Zahl in der Zeiteinheit ist dagegen relativ konstant.

Soll die Gallenblase gefüllt werden, so ist der Choledochusdruck auf etwa 160 mm Wasser eingestellt, denn die Passage des Zystikus zur Gallenblase hin erfordert die Überwindung eines Widerstandes von ca. 150 mm H_2O . Die Durchflußmenge am Sphinkter Oddi ist klein, da die Öffnungszeiten im Verhältnis zu den Kontraktionsphasen kurz sind. Es werden aber auch jetzt kleine Gallenportionen in den Darm abgegeben. Sollte durch irgendein Ereignis der Druck im Hauptgallenweg ansteigen, sei es, daß die Spannung in der Gallenblase sich erhöht oder die Leber verstärkt sezerniert, so verlängern sich die Öffnungsphasen, die abgegebenen Partialvolumina werden größer. In den von Verdauungsarbeit freien Perioden hat der choledochoduodenale Muskel somit die Funktion eines Überlaufventils, das, auf Druckschwankungen reagierend, einen gleichbleibenden Tonus im Hepatocholedochus aufrecht erhält.

Wird durch die Entspeicherung der Gallenblase die Abgabe größerer Flüssigkeitsmengen ins Duodenum gefordert, so verlängert

sich der peristaltische Rhythmus des Oddischen Muskelsystems von 8 auf etwa 10 Sekunden, wobei die Öffnungsphase auf 6 (54) bzw. 8 Sekunden (45) anwächst. Mit dem Anschwellen des Gallenflusses sinkt der Druck im Choledochus, was nur geschehen kann, wenn die Einstellung unseres Überlaufventils verändert wurde. Für die Ursache dieser Relaxation gibt es zwei Erklärungen. Während Hess mit seiner Annahme eines lokalen Reflexes an der Papilla Vateri, ausgelöst durch das Einwirken von Nahrungsstoffen auf die Duodenalmucosa, ziemlich allein steht, kommt eine ganze Reihe von Autoren wie Sandblom, Voegtlin, Ivy (102), Hong, Magee (81), Crewdson (59), Tarsoli und Mitarbeiter (123), Grill, Pichlmaier, Neff und Stuhlfauth (45) durch ihre Untersuchungen zu der Überzeugung, daß Cholecystokinin für den Effekt verantwortlich ist. Dieses Hormon der Duodenalschleimhaut soll eine derart starke Entspannungswirkung auf den Sphinkter Oddi ausüben, daß es sogar den heftigen Spasmus, der durch Morphin an ihm auslösbar ist (29), durchbrechen kann.

In das Spiel von Tonussteigerung, d.h. Verlängerung der Kontraktionsphasen und Relaxation, mit einem Überwiegen der Öffnungszeiten, greifen noch eine Reihe anderer Faktoren ein, die im physiologischen Geschehen Bedeutung haben können. Drucksteigerung und Anwesenheit von Salzsäure im Duodenum erzeugen einen Sphinkterspasmus. Die Beobachtung, daß nach dem Übertritt von Speisebrei aus dem Magen in den Zwölffingerdarm zunächst der Gallenfluß für 4 bis 10 Minuten unterbleibt, mag damit weitgehend erklärt sein. Sympathikusreizung und Vaguslähmung durch Atropin erzeugen Relaxation der Pars intramuralis choledochi, starke Vagusreizung ruft Spasmus hervor (Westphal (127)).

Der Sphinkter Oddi ist demnach ein Muskelsystem, das sowohl in der Lage ist die Galle in einzelnen kleinen Portionen auszuwerfen, als auch ein, der jeweiligen Situation angepaßtes Druckniveau konstant zu erhalten. Die Einstellung dieses Niveaus geschieht durch mechanische, humorale und nervale Einflüsse.

C. Die Bedeutung der Gallenblase für die Cholekinese

Ist nach einer Gallenausschüttung im Hepatocholedochus durch die Tätigkeit des Oddischen Schließmuskels der Druck auf eine

Höhe eingestellt, die geeignet ist die Resistenz des valvulo-muskulären Kollum-Zystikus-Sphinkter zu überwinden, so beginnt die zweiphasige Auffüllungsperiode des Gallenspeichers. Er verringert zunächst seinen Tonus, wird größer und füllt sich mit Lebergalle. Wie Adler (2), Jankelson, Altman (65), Imanaga, Harada und Wakamatu (62) an Hand von Röntgenbildern beobachten konnten, löst intravenöse Injektion von Decholin (Dehydrocholsäure) den gleichen Vorgang aus. Mit dem Erreichen des maximalen Speichervolumens beginnt die zweite Phase. Größe und Form der Gallenblase bleiben nun praktisch konstant, obwohl der ständige Sekreteinstrom, ermöglicht durch die ununterbrochene Resorptionstätigkeit, anhält. Physiologischerweise wird demnach, abgesehen von den Zeiten der Gallenausschüttung, ein immer währender Gallenfluß in das Reservoir beobachtet, eine Tatsache, die die ziemlich ausnahmslose Kontrastfüllung beim Gesunden ermöglicht (Stieve (116)).

Die Dauer der Auffüllungsperioden ist unterschiedlich und hängt von der Länge der Pausen zwischen den Nahrungsaufnahmen ab, die jeweils eine mehr oder weniger starke Entspeicherung von Blasengalle hervorrufen. So wird es möglich, daß im Gallenspeicher mehrere Sekretportionen vorhanden sind, die, unterschiedlich lange der Resorptionstätigkeit der Mucosa ausgesetzt, verschiedene spezifische Gewichte aufweisen. Campbell und Burton (23) stellten fest, daß weder Diffusionsvorgänge noch heftige mechanische Einwirkungen eine Vermischung der Partialvolumina bewirken können. Der Inhalt der Gallenblase ist also keineswegs homogen, sondern aus einer Anzahl von Schichten zusammengesetzt, die sich ihrem spezifischen Gewicht entsprechend anordnen. Tera (124) der an über 100 Patienten die Blasengalle in fraktionierten Proben untersuchte, gibt an, daß der Inhalt einer Gallenblase beim Gesunden im Durchschnitt zwischen 1,020 und 1,036 variiert. Im krankhaft veränderten Gallenreservoir ist das spezifische Gewicht des Inhalts niedriger und seine Variationsbreite eingeengt; sie fehlt bei einem Verschuß des Ductus cysticus völlig.

Der schwache Muskelmantel der Gallenblase und die Tatsache, daß während Operationen kaum je an ihr aktive, d.h. rasche Kontraktionen gesehen wurden, ließen eine Fülle von Theorien entstehen, die eine passive Entleerung des Gallenspeichers postulierten.

Intraabdominale Druckschwankungen, seien sie durch die Atembewegung oder durch die Tätigkeit der Bauchpresse hervorgerufen, der Sekretfluß im Hepatocholedochus, der im Sinne einer Wasserstrahlpumpe saugend auf den akzessorischen Gallenweg wirken sollte und Melkbewegungen des Oddischen Sphinkters und der Duodenalmuskulatur wurden für die Entleerung der Blasegalle verantwortlich gemacht. Andere wiederum nahmen an, daß Sekret, das einmal in die Blase gelangte, dort völlig resorbiert und nicht mehr über den Ductus cysticus abgegeben wird. Higgins, Mann (55), Whitaker (129), Schöndube (105, 106, 107) und Ivy (64) haben sowohl Fakten aus der Literatur, wie auch eigene experimentelle Untersuchungen zusammengetragen, die alle Hypothesen einer passiven Entleerung und die Absorptionstheorie widerlegen und nachweisen, daß auf der aktiven Kontraktion der Muscularis vesicae felleae die Entspeicherung beruht.

Nach Ivy (64) zeigt die Gallenblasenwand zwei klar unterscheidbare Motilitätsarten. Die erste, welche er tonische Kontraktion (tonic contraction) nannte, erzeugt eine gleichmäßige Größenabnahme und Formverkleinerung mit einem Anstieg des intravesikulären Druckes, dessen Maximum, wie bereits erwähnt, etwa 300 mm H₂O betragen kann. Zwischen 5 und 30 Minuten währt dieser Druckanstieg. Innerhalb weniger Sekunden dagegen laufen die sog. rhythmischen Tonussteigerungen ("tonus rhythm") ab, die durch lokalisierte Kontraktionen und Relaxationen bewirkt werden und Druckschwankungen von 1 bis 50 mm H₂O erzeugen. Neuere Untersuchungen von Düx und Thurn (30) passen gut in das entworfene Bild und ergänzen es. Sie sahen in Röntgenkinematogrammen neben der langsamen und allseitigen Verkleinerung von Fundus und Korpus Formveränderungen am Kollum, die nicht in dieses Bewegungsschema paßten. Kleinste, oberflächliche Kontraktionen in Form von Schnürfurchen und Einengungen des Halslumens, bemerkbar durch ein kurzfristiges Verschwinden oder Abflauen des Kontrastschattens, liefen dort innerhalb von Sekunden ab. Diese, auch schon von Bayer (6) gemachte Beobachtung, daß die rhythmischen Anspannungszonen gewöhnlich nur in den oberen Gallenblasenabschnitten anzutreffen sind, legt die Vermutung nahe, daß dort eine spezielle Aufgabe erfüllt wird.

Das Zusammenspiel der bisher besprochenen Bewegungen an der Gallenblase setzt 3 bis 10 Minuten nach der Reizmahlzeit ein (9). Eine geringe, gleichmäßige Verkleinerung von Fundus und Korpus füllt und bläht den oberen Blasenteil, die Verschmälerung des Kollums wirft dann einen Flüssigkeitsschwall in den Ductus cysticus. Entsprechend der Resistenz des valvulomuskulären Kollum-Zystikus-Systems in Richtung Blase-Choledochus muß der dabei entwickelte Druck wenigstens zwischen 180 und 220 mm Wasser liegen. Zwei bis drei Sekunden dauert jeweils ein solcher Entleerungszyklus, der die Blasengalle nicht in einem kontinuierlichen Strahl, sondern in einzelnen, kleinen Schüben dem Hauptgallenweg zuführt.

Die durch Nahrungsaufnahme ausgelöste Entspeicherung des Gallenreservoirs vollzieht sich, wie Boyden (18, 19), Lindenbraten und Krugljakow (76) betonen, nicht in einem Zuge. Vielmehr folgt der ersten, kräftigsten Kontraktionsperiode, die aus vielen einzelnen Entleerungszyklen besteht, eine Relaxation, wobei das Blasenvolumen gleich bleibt oder sich gar vergrößert, also ein kurz dauernder Sekreteinstrom stattfinden kann. Der Wechsel von Evakuierung und Füllung wiederholt sich bis zu fünfmal, bedingt durch die schubweise Abgabe von Chymus an das Duodenum. Die Dauer des gesamten Entleerungsvorganges, aus Anspannungen und Erschlaffungen bestehend, ist recht unterschiedlich. Schwankungen zwischen 16 Minuten und viereinhalb Stunden wurden beobachtet; die häufigsten Zeiten liegen im Bereich von 30 bis 100 Minuten. Nach maximaler Kontraktion hat sich das Blasenvolumen bis auf 5 - 10% der Ausgangsgröße verringert.

Die Muskulatur der Gallenblase steht unter dem Einfluß nervaller und hormonaler Stimulation. Für die Ausschüttung der Blasengalle ist in erster Linie ein Wirkstoff verantwortlich, der in der Schleimhaut des Duodenums und oberen Jejunums gebildet und durch das Einwirken von Salzsäure, Fetten und deren Verdauungsprodukten ins Blut abgegeben wird. Der Nachweis seiner Existenz gelang Ivy und Oldberg 1928 (63), indem sie den cholekinetischen Effekt eines Extraktes aus dem oberen Dünndarm bei intravenöser Applikation zeigten und an Hunden mit gekreuzter Karotidenzirkulation durch Einbringen von HCl in das Duodenum des einen Partners Gallenentspeicherung beim anderen

auslösten. Nach physikalischen und chemischen Eigenschaften steht das Hormon, Cholezystokinin genannt, dem Sekretin sehr nahe, ist aber nicht mit ihm identisch.

Das vegetative Nervensystem beeinflusst nur insoweit den Mechanismus der Cholekinese als es den Tonus der Gallenwege, insbesondere der Gallenblase regelt (Whitaker (129)). Johnson und Boyden (66) haben bei Patienten, denen zur Behandlung von Duodenalulzera beidseitig der N. vagus durchtrennt wurde, die Gallenentleerung vor und nach dem Eingriff eingehend untersucht. Sie registrierten zwar eine Verlangsamung des Bewegungsablaufs, dessen Effekt jedoch, d.h. die Größe des entspeicherten Gallenvolumens, war nicht verändert. Weiterhin zeigte sich im Laufe der postoperativen Monate annähernd eine Verdoppelung des Gallenblasenumfanges im Zustand der Nahrungskarenz. Vagusimpulse steigern also den Tonus der Gallenwege und ermöglichen der Blasenmuskulatur auf Cholezystokinin schneller anzusprechen. Splanchnikusreizung wirkt antagonistisch, d.h. tonusmindernd (Westphal (127)).

D. Die Funktion des valvulomuskulären Kollum-Zystikus-Systems und des Hauptgallenweges

Bündel glatter Muskulatur, Gangabwinkelungen und ein System von Falten erzeugen am Übergang der Gallenblase zum Ductus cysticus für den Sekretstrom einen meßbaren Widerstand (Potter, Mann (99)). Er hemmt den Flüssigkeitsstrom in Richtung Chole dochus-Vesica fellea weniger als in der Gegenrichtung (Löhner (77)). Die Resistenz des Kollum-Zystikus-Sphinkter ist durch nervale und medikamentöse Einflüsse variierbar. So konnten Westphal und Gleichmann (128) durch faradische Vagusreizung seinen Widerstand erhöhen, Bergeret und Debouvry (9) einen Morphinspasmus erzeugen, der sich durch Amylnitrit wieder löste und Bayer (6) durch eine 40%ige Jodtetragonostlösung einen derart festen Verschluß hervorrufen, daß ihn selbst ein Druck von über 700 mm H₂O nicht überwand. Ein Regelmechanismus jedoch, der jenen Sphinkter auf die Arbeitsphasen des Gallenspeichers abstimmt, wurde bisher nicht entdeckt. Doch sehen wir einmal davon ab und beachten wir die Tatsache, daß trotz der oft recht heftigen, mechanischen Einwirkungen auf die Gallenblase, seien sie durch peristaltische Bewegungen von Magen, Dünndarm oder

Dickdarm, Atemexkursionen oder durch die Bauchpresse ausgelöst, in den Interdigestionsphasen keine Blasengalle abgegeben wird. Die Ursache dafür ist wohl im Kollum-Zystikus-System zu suchen, das, indem es eine ungestörte Konzentrierarbeit gewährleistet, die Speicherfunktion der Gallenblase stark unterstützt. So wird das Gallenreservoir mit seiner dünnen und nachgiebigen Wandung davor bewahrt, auf alle möglichen, zufälligen Umweltseinflüsse mit einer nutzlosen Sekretabgabe antworten zu müssen.

Die Aufgabe des Hepatocholedochus im Rahmen der Cholekinese ist schon weitgehend aus dem morphologischen Substrat ablesbar. Demnach sind echte peristaltische Bewegungen, die den Inhalt des Ganges aktiv dem Darmlumen zutreiben, der Ureterperistaltik vergleichbar, sehr unwahrscheinlich. Kinematographische Cholangiogramme brachten deshalb ein erwartetes Ergebnis, als in ihnen kein Hinweis auf derartige Muskelaktionen zu finden war (Hornykiewytsch (61)). Schwieriger ist die Frage zu beantworten, ob die Muskulatur des Hauptgallenwegs im Sinne Langs (siehe Seite 10) tätig sein kann. Dadurch soll, wie schon berichtet, während der Blasengallenaustreibung der Hepatikus eng, der Choledochus weit gestellt werden. Diese Motorik wäre einem "Weichenstellen" vergleichbar; der andrängenden Flüssigkeit wird der Weg zum Darm frei gegeben, zur Leber hin versperrt. Gegen einen wirksamen Schließmechanismus des Ductus hepaticus spricht jedoch die Tatsache, daß mit der Entleerung der kontrastierten Gallenblase eine Darstellung der extrahepatischen Gallenwege, einschließlich des Hepatikus, einhergehen kann, wobei vor Reiz wohl ein positives Cholezystogramm, aber ein negatives Cholangiogramm vorlag. Dieser von Dux und Thurn (30) beschriebene Befund bedarf jedoch noch einiger Erläuterungen. Unter den 48 Personen, bei denen sich während der Gallenaus-schüttung die Gallenwege kontrastierten, wiesen nur 14 eine retrograde Füllung des Hepatikus auf. Außerdem wurde bei allen Untersuchungen mit einer unphysiologisch raschen und kräftigen Blasenkontraktion gearbeitet, ausgelöst durch intravenöse Injektion von Cholezystokinin. Schon nach 4 bis 5 Minuten war eine maximale Verkleinerung des Gallenspeichers erreicht. Es ist also durchaus möglich, daß nur eine abnorme Druckentwicklung die Hepatikussperre in etwa 30% der untersuchten Fälle

sprengte, daß sie aber unter physiologischen Verhältnissen wirksam ist.

Über dem Muskelanteil des Hepatocholedochus dürfen wir die elastischen Elemente nicht vergessen. Sie weisen uns auf die Hauptaufgabe dieser Röhre hin, nämlich als Windkessel zu wirken. Druckspitzen, durch das schubweise Einströmen von Blaugalle entstehend, werden geebnet und als mäßige, länger anhaltende Druckerhöhungen auf den Oddischen Sphinkter übertragen, der sie dann endgültig ausgleicht.

III. Cholezysto- und Cholangiographie

A. Allgemeine Grundlagen

Nachdem 1910 im Bariumsulfat ein Kontrastmittel gefunden war, das gefahrlos eine deutliche Röntgendarstellung des Magen-Darm-Kanals ermöglicht, wurden die Bemühungen verstärkt, weitere Hohlorgansysteme, deren Absorptionsvermögen für Röntgenstrahlen sich nicht von dem des benachbarten Gewebes unterscheidet, im Röntgenlicht sichtbar zu machen. Die Grundlage zur Verwirklichung dieses Vorhabens für die Gallenblase schuf eine Arbeit von Abel und Rowntree (1) aus dem Jahre 1909. In ihr wurde gezeigt, daß ein Halogenderivat des Phenolphthaleins, das Phenoltetrachlorphthalein, selbst bei wiederholter intravenösen Applikation bei Hunden kaum toxische Effekte hervorruft und - was das entscheidende war - nahezu vollständig durch die Leber in die Galle ausgeschieden wird. Die der Erkenntnis innewohnende große praktische Möglichkeit konnte erst 15 Jahre später durch Evarts Grahams (44, 27) brillianten Einfall, die Chloratome des Phenolphthaleinabkömmlings durch schwerere Brom- und Jodatome zu ersetzen, genutzt werden. Die Hoffnung, damit eine Kontrastierung der Gallenblase zu erreichen, wurde durch das Wissen um die Fähigkeit des Gallenspeichers, Wasser zu resorbieren, bestärkt. Grahams Gedankengang ist durch einen Blick auf die Gesetze, die Absorption und Streuung, d.h. die Schwächung der Röntgenstrahlen beherrschen, sofort verständlich.

Während Absorption und Streuung eines Stoffes für normales Licht von der chemischen Struktur der Moleküle und der Größe und Form der Kolloidteilchen, die ihn zusammensetzen, abhängen,

werden die entsprechenden Effekte bei Röntgenstrahlen weder von Molekül- noch Teilcheneigenschaften berührt, sondern einzig durch die Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und Atomen bestimmt. Die strahlenschwächende Wirkung eines Elements bleibt demnach unbeeinflusst davon, ob es in freier Form oder fest an eine organische Verbindung gekettet, angewandt wird. In den wasserlöslichen Kontrastmitteln ist stets letztere Art verwirklicht, um die schweren Atome, es handelt sich heute praktisch nur noch um Jod, dem Griff der intermediären Stoffwechselvorgänge möglichst weitgehend zu entziehen. Jene Präparate, die allein ihrer physikalischen Wirkung wegen gebraucht werden, sollen inaktiv sein, d.h. beim Transport durch den Organismus keinen Abbau erleiden. Der erwünschte physikalische Effekt kann formelmäßig so gefaßt werden. Bezeichnet I_0 die auf ein Objekt auffallende Strahlenenergie und I die von ihm durchgelassene, so ist I/I_0 ein Maß für das Schwächungsvermögen der durchsetzten Schicht.

$$I / I_0 = e^{-(\tau + \sigma) \cdot d \cdot \rho} \quad (32)$$

e = Basis des natürlichen Logarithmus

d = Schichtdicke ; ρ = Dichte

Während σ , Streuungskoeffizient genannt, sowohl von der Ordnungszahl der Atome wie auch von der Wellenlänge der verwendeten Strahlung nahezu unabhängig ist und praktisch einen konstanten Wert aufweist, ist der Absorptionskoeffizient τ recht variabel. Er ist grob gesagt, bei den in der Röntgendiagnostik gebräuchlichen Strahlenqualitäten der 4. Potenz der Ordnungszahl Z und der 3. Potenz der Wellenlänge λ proportional.

$$\tau = c \cdot Z^4 \cdot \lambda^3 \quad c = \text{Konstante}$$

Die Zusammenfassung beider Gleichungen bringt den schattengebenden Effekt einer jodhaltigen Verbindung in der Gallen-

Blase klar zum Ausdruck.

$$I / I_0 = e^{- (c \cdot Z^4 \cdot \lambda^3 + G) \cdot d \cdot \rho} \quad (32)$$

Jod mit seiner Ordnungszahl von 53, schon der kontrastierenden Wirkung des Bariums ($Z = 56$) vergleichbar, übertrifft die mittlere Ordnungszahl der die Gallenblase umgebenden Weichteile ($Z = 7,64$) bedeutend. Die Dichte ρ der Kontrastgalle wird durch die Konzentrierarbeit der Gallenblasenmukosa gesteigert. Neben dem günstigen physikalischen Verhalten bietet das Jod in dem Zusammenhang einen weiteren Vorteil; es läßt sich mit den Methoden der organischen Chemie relativ leicht als Substituent in zahlreiche Verbindungen einführen.

Dennoch haben Graham und Cole (44) in ihren ersten Versuchen am Menschen die bromierte Verbindung des Phenolphthaleins, das Tetrabromphenolphthalein eingesetzt, da der entsprechende Jodkomplex in vorhergegangenen Tierversuchen schwerwiegende toxische Effekte ausgelöst hatte. Sie beruhten jedoch, wie sich bald herausstellte, auf Verunreinigungen des Phenolphthaleinanteils und nicht auf der Wirkung des Jods. So fand das Dinatriumsalz des Tetraiodphenolphthaleins I als Standardmittel der Cholezystographie für zwei Jahrzehnte Eingang in die Praxis. Anfangs nur intravenös appliziert, wurde es von den Klinikern bald mehr und mehr oral verabreicht, da das bequemer und mit weniger ernsten Komplikationen verbunden war. Die diagnostische Sicherheit der Cholezystographie hat dadurch jedoch gelitten, denn die häufigen Begleiterscheinungen von Übelkeit und Erbrechen veranlaßten die Patienten oft, entweder nicht die vorgeschriebene Dosis einzunehmen oder eine unkontrollierbare Menge unmittelbar nach der Aufnahme wieder von sich zu geben.

Deshalb war die Forschung bemüht neue Substanzen zu finden, denen die störenden Begleiterscheinungen fehlen, und die womöglich durch beschleunigte Leberpassage noch eine verbesserte Darstellung der Gallenwege mit sich bringen sollten. So wurde das mit vier Jodatomen substituierte Phenolphthalein durch das oral anzuwendende, diiodierte Biliselectan II (1940) abgelöst. Ihm wiederum folgten eine Reihe trijodierter oraler

Tabelle

I		Tetraiodophenolphthalein-Dinatriumsalz Jodtetragnost 1924 Jodgehalt 58,63%
II		Natriumsalz der β-(4-Hydroxy-3,5-dijodphenyl)-α-phenyl-propionsäure Biliselectan 1940 Jodgehalt 52%
III		β-(3-Amino-2,4,6-trijodphenyl)-α-äthyl-propionsäure Telepaque 1952 Jodgehalt 66,7%
IV		β-(3-Hydroxy-2,4,6-trijodphenyl)-α-äthyl-propionsäure Teridax 1953 Jodgehalt 66,5%
V		Natriumsalz der β-(3-Dimethylamino-methylenamino-2,4,6-trijodphenyl)-propionsäure Biloptin 1959 Jodgehalt 61,4%
VI		Methylglucaminsalz der N,N'-Adipin-di-(3-amino-2,4,6-trijod)-benzoesäure Biligradin 1953 Jodgehalt 50%

Kontrastmittel, von denen Telepaque III (1952), Teridax IV (1953) und Biloptin V (1959) erwähnt seien. Die Einführung des Biligrafins VI (1953) mit zwei trijodierten Benzolringen brachte im Jahre 1953 das erste, im großen Stil intravenös verwendbare Gallenkontrastmittel. Es erzeugt nicht nur einen sehr deutlichen Gallenblasenschatten, sondern führt auch regelmäßig die großen Gallengänge einer Beurteilung zu. Die moderne Gallenwegsradiologie basiert ausschließlich - wie sich schon aus ihrer kurz skizzierten Geschichte ergibt - auf trijodierten oralen oder intravenösen Präparaten.

Trotz der Fülle neuerer Entwicklungen auf dem Gebiet gallengängiger Kontrastmittel hat sich im Prinzip seit den Anfängen bei Graham und Cole nur wenig geändert. Noch immer überläßt man es den Transport-, Ausscheidungs- und Speichermechanismen des Organismus das Kontrastmittel, nachdem es entweder aus dem Magen-Darm-Kanal resorbiert oder direkt ins venöse Blut injiziert wurde, im Erfolgsorgan anzureichern. Als eigentliche Strahlenabsorber dienen nach wie vor die Jodatome. Ihre Stellung in den organischen Trägersubstanzen, denen trotz aller chemischer Unterschiede ein gemeinsames Bauprinzip eigen ist, hat sich ebenfalls nicht geändert. Das Jod sitzt immer an einem aromatischen Ring, mit Hydroxyl- oder Aminogruppen vergesellschaftet. Die die Ausscheidung vermittelnde Karboxylgruppe befindet sich in der aliphatischen oder hydroaromatischen Seitenkette, so weit wie möglich vom jodtragendem Kern entfernt. Nach Pongratz (98) erhalten die Moleküle dadurch etwas "Speriges", was er als wesentlichen Umstand für die Affinität zum Gallenapparat bzw. für die Erschwerung der Ausscheidung durch die Niere wertet. Der Überlegung entsprechend läßt sich für die harngängigen Kontrastmittel fordern, daß die ausscheidungsfördernden Gruppen, wie die Azetylamino- und Karboxylgruppe, stets am jodierten Ring sitzen.

Biligrafin bildet eine Ausnahme, da es sich weder der einen, noch der anderen Gruppe ganz fügt. Seiner chemischen Struktur entsprechend sollte es Affinität zur Niere haben. Indes wird durch die Verknüpfung zweier Trijodaminobenzoessäurereste durch die Adipinsäurebrücke ein Molekül von vergrößerten und sperrigen Ausmaßen geschaffen.

Bei der Anfertigung des Bildmaterials, das im 2. Teil der vor-

liegenden Arbeit ausgewertet werden soll, wurden als Vertreter der oralen Kontrastmittel Biloptin, der parenteralen Biligradin forte verwendet. Auf ihre Wirkungsmechanismen soll deshalb noch speziell eingegangen werden.

B. Kontrastdarstellung der Gallenwege mit Biligradin

Biligradin, das aus dem Magen-Darm-Kanal kaum resorbiert wird, zeigt nach intravenöser Applikation eine starke Bindung an Eiweißkörper. Langecker, Harwart und Junkmann (72) fanden bei in vitro Versuchen mit Menschenblut 80 - 88% des Präparats an Proteine adsorbiert. Im wesentlichen sollen nach Lasser und Mitarbeitern (73), Leupold und Heuck (75) nur die Albumine beladen sein; Kimbel u.a. (69) fanden dagegen auch eine Beteiligung der α -Globulin-Fraktion.

Das Verhalten einer Substanz zu den Eiweißbestandteilen des Blutes ist nach Experimenten von Bennhold, Ott, Wiech (8) und Lasser mitbestimmend für dessen Ausscheidungsmodus: so bewirkt große Affinität zu den Serumproteinen (niedrige Dissoziationskonstante) bevorzugte Elimination über die Leber, das Auskommen ohne Trägersubstanz jedoch Nierengängigkeit. Mit den gezeigten Fakten übereinstimmend fand eine Reihe von Autoren (41, 14, 15, 131, 95, 92) für 20%-iges Biligradin eine Ausscheidungsrelation von Leber zu Niere gleich 9 : 1. Leupold, Heuck (75) und Pahl (94) kamen bei ihren Untersuchungen zum selben Ergebnis, d.h. auch sie konnten 48 Stunden nach Injektion im Durchschnitt nur etwa 10% des verabreichten Kontrastmittels im Urin nachweisen, während die restlichen 90% direkt, ohne enterohepatischen Kreislauf, mit den Fäzes ausgeschieden wurden, betonten jedoch, daß sie eine weite Streuung von 5,3 - 13,0% bzw. 6,0 - 18,0% beobachteten. Das nimmt bei der Vielzahl von Funktionen, die die Biligradinausscheidung beeinflussen, nicht wunder.

Verabreicht man verschiedenen Patienten eine definierte Menge jenes Kontrastmittels, so variiert der freie, nierengängige Anteil, je nach Blutvolumen und Serumproteinkonzentration. Andererseits führt eine Steigerung der Dosis, indem etwa für das 20%-ige Biligradin ebensoviel 50%-iges Biligradin forte injiziert wird, vor allem innerhalb der ersten 30 Minuten zu einer Verschiebung des Gleichgewichts zugunsten der nicht proteinge-

bundenen Fraktion und damit zu einer vermehrten Nierenausscheidung. Clearance-Untersuchungen an Hund und Kaninchen demonstrieren das besonders klar. Während bei einem Bilirubin-Plasmaspiegel um 10 mg% die Bilirubin-Galle-Clearance das 7 - 16 fache der Bilirubin-Nieren-Clearance beträgt, ist bei hohem Plasmaspiegel (um 100 mg%) die Ausscheidung von Bilirubin annähernd gleichmäßig auf Galle und Harn verteilt (72).

Nach einer klinischen Erfahrung von Pahl (94) erzeugt verminderte Flüssigkeitsaufnahme vor der intravenösen Cholezysto-Cholangiographie bessere Kontrastierung. Dieser Hinweis auf die Nierenfunktion, als ein weiteres Moment in der Bilirubin-ausscheidung, konnte in experimentellen Untersuchungen von Leupold und Heuck (75) in gewissem Umfang bestätigt werden. Sie fanden bei Personen im Durstversuch, deren tägliche Urinmenge auf 200 - 300 ccm reduziert war, nur noch 1 - 4% des verabreichten Kontrastmittels im Harn. Ein gleich niedriger Wert von 1,9% war bei einem Patienten mit subakuter Glomerulonephritis nachzuweisen, dessen 24-stündige Harnproduktion auf 180 ccm eingeschränkt war.

Die deutlichsten Änderungen am Ausscheidungsweg und -tempo unseres Kontrastmittels sind jedoch bei Funktionsstörungen der Leber zu beobachten. Der durch die Niere eliminierte Anteil kann kompensatorisch auf 50% anwachsen, der Ausscheidungsvorgang, sonst im wesentlichen nach 2 Tagen abgeschlossen, bis zu 5 Tagen währen (131, 95). Nicht nur Parenchymschäden der Leber, durch die Drosselung ihrer Durchblutung, beispielsweise durch Kreislaufinsuffizienz erzeugt, vermag jene vikariierende Einschaltung der Niere zu bewirken (131, 75). Damit kann eine, bei Patienten jenseits des 60. Lebensjahres häufiger beobachtete Tatsache erklärt werden, daß nach fehlender Darstellung der Gallenwege 2 - 4 Std. p.i. eine Füllung nach 24 Stunden nachweisbar ist. In 25 solchen Fällen konnte Seyss (111, 112) durch Untersuchung mit Radiogold eine Durchblutungsstörung der Leber nachweisen. Er nimmt an, daß dadurch das Kontrastmittel verzögert an die Leberzellen herangebracht und dem entsprechend erst im Verlauf mehrerer Stunden eine genügend große Jodmenge ausgeschieden ist, um einen sichtbaren Schatten des Gallenspeichers erzeugen zu können.

Selbst eine völlig gesunde Leber ist in ihrer Bilirubinexkre-

tionsleistung nicht konstant. Die Wahl des Zeitpunkts und die Geschwindigkeit der Injektion bringen Schwankungen mit sich. Der Einfluß des Untersuchungstermins beruht auf dem physiologischen Arbeitsrhythmus des gallenproduzierenden Organs (siehe S. 25). In der Praxis findet das gewöhnlich wenig Beachtung, da das Kontrastmittel fast ausschließlich zwischen 8 und 11 Uhr verabreicht wird und man so, mehr oder weniger unbewußt, an den Beginn der assimilatorischen oder sekretorischen Phase gelangt, d.h. in jene optimale Zeitspanne, in der der Gallenfluß anzuschwellen beginnt. Man sollte aber darüber im klaren sein, daß auch einmal ein ungünstiger Untersuchungszeitpunkt, etwa der späte Nachmittag, oder eine Störung im besagten Rhythmus bei einem klinisch Gesunden die Kontrastdarstellung der Gallenwege beeinträchtigen kann. Den Einfluß der Injektionsgeschwindigkeit auf die Güte der Gallenwegsdarstellung beschrieb Watanabe (126). Seine Beobachtung, daß die Zahl der negativen Cholezystogramme sich verringert, wenn man die kontrastierende Substanz nicht in 2 - 3, sondern in 5 - 8 Minuten verabreicht, veranlaßt ihn Kaninchen eine bestimmte Biligrafinmenge in 30 sec. und 4 - 6 min. zu injizieren. Zwei Stunden p.i. konnte er nach langsamer Applikation durchschnittlich 940 mg, nach schneller nur 572 mg des Pharmakons in der Lebergalle nachweisen. Die niedrigere Ausscheidungsquote wurde durch eine geringere Konzentration der Kontrastgalle in den ersten 30 Minuten und vorallem durch das Ausbleiben des choleretischen Effektes, der nach langsamer Biligrafininjektion stets eintritt, bedingt. Es muß angenommen werden, daß ein allzu großes Angebot an freiem Biligrafin die Leberfunktion, wenn auch nur kurzfristig, hemmt.

Die Güte der intravenösen Darstellung der Gallenwege ist weniger von der Gesamtmenge des über die Leber eliminierten Biligrafin, die bisher in erster Linie betrachtet wurde, als vielmehr vom Ausmaß der in der Zeiteinheit in jenem Röhrensystem ankommenden Kontrastmitteldosen abhängig. Nun ist es aber kaum möglich den Konzentrationsablauf des Biligrafin im Gallestrom durch eine exakte Zahlenreihe wiederzugeben, denn die darüber vorliegenden Arbeiten (72, 41, 42, 14, 15, 131, 26, 88), teils am Menschen, teils am Tier durchgeführt, differieren stark in den verwendeten Kontrastmitteldosen, den

Meßmethoden und den Dimensionen, in denen die Ergebnisse festgehalten wurden. Aus diesem, oft stark auseinanderweichendem Zahlenmaterial lassen sich dennoch einige bedeutsame Fakten herauschälen.

Übereinstimmend findet man Hinweise auf die große Schnelligkeit der Leberpassage des Biligrafin. Sein Gallespiegel ist schon 5 Minuten p.i. etwa gleich dem des Blutes und hat bei Kaninchen, denen man 0,12 bis 0,32 g der Substanz pro Kilogramm Körpergewicht verabreichte, nach 10 bis 20 Minuten den Höchststand erreicht (Novek (88)). Wenig später, etwa 30 Minuten p.i. ist dieses Konzentrationsmaximum auch beim Menschen erreicht, wo es durchschnittlich eine halbe Stunde anhält und bei Verwendung von 40 ml 20%igem Biligrafin ungefähr 1 g% beträgt, eine Konzentration, die etwa um das 15 - 20-fache über dem Biligrafingehalt des Blutes liegt (42, 115). Eine Stunde post injectionem fällt die Kontrastmittelkonzentration der Lebergalle leicht ab, um 60 Minuten später $9/10$ bzw. $2/3$ (42, 15) des Ausgangswertes zu betragen. Damit läßt sich gut die klinische Erfahrung in Einklang bringen, nach der die optimalste, primäre Darstellung des Hauptgallenweges im Zeitraum zwischen 20 und 60 Minuten p.i. zu beobachten ist (60).

In der Lebergalle von Hunden, denen 0,25 bzw. 0,057 g Biligrafin pro kg Körpergewicht verabreicht worden war, fand man nach 2 Stunden 8,9 bzw. 8,7 - 14,7% der verabreichten Substanz (Clerc (26), Langecker u.a. (72)). Beachtet man, daß, dem Mechanismus des Oddischen Sphinkters gemäß, stets ein Teil der Lebergalle direkt ins Duodenum abfließt, so stimmen die Werte aus den Tierversuchen recht gut mit Angaben von Oeser, Krokowski und Taenzer (91) überein, die sie am Menschen gewannen. Nach Verwendung von 20 ml Biligrafin forte werden in der gut kontrastierten Gallenblase durchschnittlich nur 6% der injizierten Substanz angetroffen, was einer Kontrastmittelkonzentration der Blasengalle von 1,5 - 1,8 g% entspricht.

Die rasche, hochkonzentrierte Biligrafinelimination im Gallenstrom legt einen Vergleich mit der Ausscheidungsurographie nahe, weshalb Pahl (94) von Ausscheidungs-Cholographie spricht. Dieser Begriff charakterisiert den Kontrastierungsvorgang des Hauptgallenweges und der großen intrahepatischen Gallengänge, die gewöhnlich bis zu ihrer Verzweigung erster oder zweiter

Ordnung dargestellt werden, recht gut, denn die Intensität ihres Röntgenschnitts, von der Gallenblasenfunktion völlig unbeeinflusst, ist, falls kein mechanisches Hindernis vorliegt, nur von der Güte der Biligrafinausscheidung abhängig. Damit sollte aber nicht nur der Funktion der Leber, sondern auch all jener Faktoren gedacht werden, die, wie oben erwähnt, jene Exkretion mitgestalten.

Für das Cholezystogramm ist die Pahlische Nomenclatur zu eng. Wohl spielt auch hier die Konzentration der Kontrastgalle eine bedeutende Rolle, daneben darf aber die Notwendigkeit eines funktionstüchtigen Gallenblasenfüllungsmechanismus nicht übersehen werden. Zur Überwindung des physiologischen Widerstandes des valvulomuskulären Kollum-Zystikus-Systems in Richtung Gallenspeicher muß im Hauptgallenweg ein ausreichender Druck durch den Oddischen Sphinkter eingestellt werden (siehe S. 28). Ist seine Funktion gestört, sei es, daß rezidivierende, geringgradige Entzündungen Hypermotilität anregen (60) oder eine Erschlaffung des Muskelsystems ein Klaffen der Papilla Vateri zuläßt, so kommt es zu einer sturzartigen Entleerung der Kontrastgalle ins Duodenum, was flauere oder fehlende Füllung der Gallenblase zur Folge hat. Ihre Darstellung kann in diesem Fall durch eine Morphininjektion in den ersten 30 - 60 min. p.i. erzwungen werden. Die häufigste Ursache eines undeutlichen oder negativen Cholezystogramms ist ein partieller oder totaler Verschuß des Ductus cysticus. Konkreme, chronische Entzündungen mit Ausbildung narbiger Strikturen und starke Abknickung des Zystikus oder Gallenblasenhalses, durch Verwachsungsstränge erzeugt, können dafür verantwortlich gemacht werden.

Für die Speicherleistung der Gallenblase ist ihre Fähigkeit, das einströmende Sekret konzentrieren zu können, von überragender Bedeutung (siehe S. 26). Welche Rolle jener Tätigkeit der Gallenblasenmukosa im Rahmen der intravenösen Cholezystographie zukommt, ob sie dort notwendig ist und somit an Hand entsprechender Röntgenbilder beurteilt werden kann, ist in der Literatur umstritten (Lörinc, Deák (79)). Um darüber Klarheit zu gewinnen, sollten folgende Fakten beachtet werden. Biligrafin wird gewöhnlich Patienten verabreicht, die seit 12 Stunden keine Nahrung mehr zu sich genommen haben. Bei ihnen ist also

sicher die Gallenblasenfüllung bereits in der zweiten Phase (siehe S. 30), in der, wie Stieve (116) betont, das Gallenblasenvolumen praktisch konstant bleibt. Das trifft, wie Oeser u.a. (91) in einer Serie von Röntgenbildern zeigen, auch für die Zeitspanne zu, in der sich die Biligrafingalle in das Gallenreservoir ergießt. Wenn sich also das Volumen der flau dargestellten Gallenblase 60 min. p.i. von dem der maximal strahlenabsorbierenden 120 min. p.i. kaum unterscheidet, so kann der Kontrastgalleinstrom nur durch eine entsprechende Resorptionsleistung der Gallenblasenschleimhaut ermöglicht worden sein. Durch vergleichende Schwärzungsmessungen an Cholezystogrammen, die mit differenten Strahlenqualitäten (54/58 kV und 250 kV) angefertigt wurden, konnten Oeser und Mitarbeiter (91) den Konzentrationsanstieg der Kontrastgalle in der Gallenblase quantitativ verfolgen. Bei Gesunden fand sich 30 min. p.i. in der Blasengalle eine Biligrafinkonzentration von etwa 0,5 g%, 60 min. p.i. war sie bereits auf 0,8 - 1,1 g% angestiegen, um 120 min. p.i. 1,2 - 1,5 g% zu betragen.

Schichtungsphänomene, die sich bei der intravenösen Cholezystographie häufig nachweisen lassen, bieten eine weitere Möglichkeit, die Konzentrierfähigkeit der Gallenblasenmukosa zu beurteilen (116, 79, 115, 91). Kommt Biligrafin-Lebergalle, deren Strahlenabsorptionsfähigkeit ohne Konzentrierung schon ausreicht, um einen sichtbaren Röntgenschaten zu erzeugen, in der Gallenblase an, so entsteht zunächst im Infundibulum eine Kontrasthaube mit einer mehr oder weniger scharfen Spiegelbildung nach unten (30 - 40 min. p.i.). Wasserentzug läßt das spezifische Gewicht der Kontrastgalle ansteigen, bis es schließlich höher ist, als das der eingedickten, jodfreien Blasengalle. Nun sinkt die strahlendichte Galle am Rande nach unten und bildet so einen wandständigen Kontrastmantel, der einen strahlendurchlässigen Kern aus alter Blasengalle umhüllt. Die Jodgalle sammelt sich schließlich im Fundus, wobei ein langsam ansteigender Kontrastgallensee entsteht, mit einem mehr oder weniger scharfen Spiegel nach oben zur kontrastmittelfreien Blasengalle (60 - 90 min. p.i.). Ein wandständiger Kontrastsaum (Hornykiewytsch-Stender-Symptom) oder eine zweifache Schichtung (Stieve) in einem Cholezystogramm weist auf gute Konzentrierfähigkeit des Speicherorgans.

Wichtiger als für die intravenöse Cholezystographie ist freilich die Resorptionsfähigkeit der Gallenblasenmukosa bei der peroralen Methode. Eine mäßige Einschränkung dieser Funktion kann deshalb ein negatives orales und positives intravenöses Cholezystogramm mit sich bringen. In derartigen Fällen sollte aber, vor allem, wenn in der zweiten Untersuchung Zeichen einer normalen Resorptionstätigkeit der Gallenblase nachzuweisen sind, auch an andere Fehlerquellen gedacht werden. So kann dem Magen-Darm-Trakt nur eine unzureichende Kontrastmittelmenge angeboten worden sein, sei es, daß der Patient aus Furcht vor unangenehmen Nebenwirkungen die Dosis reduzierte, sei es, daß er sich nach Einnahme erbrach, oder die Resorption ist gestört.

C. Kontrastdarstellung der Gallenwege mit Biloptin

Die orale Applikation eines Kontrastmittels fügt der Mechanik der Gallenwegsdarstellung einen weiteren Arbeitsgang an, die Resorption der strahlenabsorbierenden Substanz aus dem Magen-Darm-Kanal. Damit ist nicht nur, im Vergleich zur intravenösen Methode, ein anderer zeitlicher Untersuchungsablauf geschaffen, sondern auch eine Neubewertung jener Faktoren notwendig, die dort besprochen wurden.

Bevor wir uns damit im einzelnen beschäftigen, werfen wir einen Blick auf pharmakologische Eigenschaften des Biloptin. Drei Gramm dieser, in Wasser praktisch unbegrenzt löslichen Substanz, sind gewöhnlich 2 1/2 bis 3 1/2 Stunden nach oraler Aufnahme so weit aus dem Darm resorbiert, daß sie dort röntgenologisch nicht mehr nachweisbar sind (17). Im großen Kreislauf ist die maximale Biloptinkonzentration von 2 - 6 mg% (93) bzw. 6 - 15 mg% (28) meist nach 2 - 3 Stunden erreicht, wobei jedoch weite Streuungen von 1 - 6 Stunden vorkommen. Sie beruhen weniger auf variablen Resorptionsleistungen der Dünndarmschleimhaut als vielmehr auf unterschiedlich schnellen Magenpassagen des Kontrastmittels. Wird nämlich, wie es Baumann und Mitarbeiter (5) taten, Biloptin durch eine Duodenalsonde verabreicht, so ist der Gipfel seines Konzentrationsablaufs im Blut ziemlich regelmäßig nach 30 - 60 Minuten erreicht. Im Blut ist Biloptin in den in der Praxis vorkommenden Konzentrationen zu über 99% an Serumweißkörper adsorbiert (51). Die Erwartung, daß damit gute Lebergängigkeit verbunden sei, wird durch einen ersten

Blick auf die Ausscheidungsbilanz scheinbar enttäuscht, denn in den ersten 24 Stunden lassen sich durchschnittlich 41 bzw. 42% (93, 28, 51) der verabreichten Biloptinmenge im Harn nachweisen, in den Fäzes dagegen nur etwa 5%. Konzentrationsbestimmungen in der Galle verschiedener Spezies bestätigen aber unsere Erwartung. Bei Ratte und Hund konnten in der Lebergalle Biloptinhöchstkonzentrationen von 0,8 bzw. 1,0 g% ermittelt werden. Ein Patient schied nach Einnahme von 3 g Biloptin in 180 ccm Galle, die innerhalb von 24 Stunden durch ein T-Drain gewonnen wurden, also einen undefinierten Bruchteil der gesamten Gallenproduktion darstellen, 15,3% davon aus (Harwart, Kimbel, Langecker, Willenbrink (51)).

Die Tatsache, daß Biloptin überwiegend über die Niere eliminiert wird, darf also nicht zu dem Schluß verleiten, daß die Lebergängigkeit dieses Kontrastmittels wesentlich schlechter als die des Biligrafin sei. Der Unterschied im Ausscheidungsweg wird vielmehr durch das differente Verhalten der Darmschleimhaut zu jenen Substanzen bewirkt. Während Biligrafin, einmal mit der Galle in den Darm gelangt, nicht rückresorbiert und mit dem Stuhl direkt ausgeschieden wird, kann beim Biloptin die Leberausscheidung durch Rückresorption immer wieder zunichte gemacht werden. So ist es möglich, daß Biloptin nach mehrfachem Durchlaufen des enterohepatischen Kreislaufs endlich doch durch die Niere ausgeschieden wird.

Zur Beurteilung der Wichtigkeit der Faktoren, die die Biloptin-Kontrastdarstellung der Gallenwege bestimmen, müssen zwei grundsätzlich verschiedene Anwendungsarten des Pharmakons getrennt betrachtet werden.

Meist wird Biloptin, wie auch die älteren, oralen Gallenkontrastmittel, am Vorabend der Untersuchung nach einem leichten Abendessen eingenommen. Im Laufe des nächsten Vormittages, also etwa 12 Stunden später, werden dann die Röntgenaufnahmen angefertigt. Auf ihnen findet man zunächst nur eine Darstellung der Gallenblase. Die Intensität ihres Schattens ist im wesentlichen nur von der Konzentrierfähigkeit der Gallenblasenmukosa abhängig, vorausgesetzt, es liegt keine massivere, enterale Resorptionsstörung vor und der Zufluß zum Gallenspeicher ist offen. Eine mäßige Beeinträchtigung der Leberfunktion, die sich in einer verzögerten Kontrastmittelausscheidung äußert, kann sich kaum bemerkbar machen, da beim Gesunden schon nach 5 Stunden ge-

wöhnlich eine gute Gallenblasenfüllung nachweisbar ist, der Leber also ein Zeitraum von etwa 7 Stunden zur Verfügung steht, ihren Defekt auszugleichen. Ähnliches gilt für die Dysfunktion des Oddischen Sphinkters, d.h. wenn der größte Teil der Kontrastgalle ungehindert ins Duodenum abfließt. Die alsbaldige Biloptynrückresorption in Verbindung mit der oben angedeuteten Zeitreserve ermöglichen meist auch hier ein normales Cholezystogramm. Eine Anwendung dieser Untersuchungstechnik ist bei Cholezystektomierten nicht möglich, da eine Darstellung der Gallenwege nur sekundär, d.h. nach Entspeicherung der konzentrierten Kontrastgalle zu erreichen ist.

Zahlreiche Anstrengungen wurden deshalb unternommen, um routinemäßig auch eine primäre Biloptynfüllung des Hepatocholeodochus zu ermöglichen. Das ist nicht aussichtslos, denn die maximale Biloptynkonzentration der Lebergalle, die durchschnittlich 2 - 3 Stunden nach Einnahme des Kontrastmittels nachweisbar ist und $1\frac{1}{2}$ - 2 Stunden anhält, reicht bei normaler Leberfunktion aus, um den Hauptgallenweg röntgenologisch erfassen zu können (17). Die Schwierigkeit liegt jedoch darin, den Zeitpunkt der optimalen Gallenwegsfüllung regelmäßig zu erwischen. Während nämlich bei der intravenösen Cholangiographie nur Variationen in der Kontrastmittelausscheidung zu berücksichtigen waren, pflöhen sich bei der oralen Technik auf dieses Moment noch Schwankungen in der Kontrastmittelresorption, wobei, wie bereits betont, die Magenpassage des Biloptyn den größten Unsicherheitsfaktor darstellt. Bei duodenaler Biloptyn-Applikation lassen sich daher Ergebnisse erzielen, die mit denen des Biligrafin vergleichbar sind. Baumann und Mitarbeiter (5) sahen bei 64 Patienten, denen jeweils 6 g Biloptyn durch Duodenalsonde verabreicht wurden, eine Stunde post instillationem in 59 Fällen ein positives Cholangiogramm.

Für die primäre Darstellung der Gallenwege im Routinebetrieb dürften nach wie vor die intravenösen Gallenkontrastmittel vorzuziehen sein. Sollten jedoch schlechte Venenverhältnisse oder eine Arzneimittellallergie die intravenöse Methode schwierig oder unmöglich machen, so bietet die orale Cholangiographie einen brauchbaren Ausweg (40).

Zweiter Teil

I. Methodik

A. Anfertigung der Cholezysto- und Cholangiogramme

Zur Untersuchung gelangten Photogramme intravenös und peroral kontrastgefüllter Gallenwege. Bei den erstgenannten wurden zwischen 8³⁰ und 9⁰⁰ nüchternen Patienten 20 ml Biligrafin forte innerhalb von 4 Minuten injiziert. Die Anfertigung der Röntgenaufnahmen folgte 30 Minuten bzw. 90 bis 120 Minuten danach. Zur peroralen Darstellung des Gallenspeichers nahmen die Patienten am Vorabend der Untersuchung nach einem leichten Abendessen 3 Gramm Biloptin ein. Die erste Röntgenaufnahme fertigte man ungefähr 12 Stunden später an. Danach wurde eine Reizmahlzeit, aus dem Eigelb von drei Eiern bestehend, verabreicht und 15 und 30 Minuten später die Verkleinerung der Gallenblase in Zielaufnahmen festgehalten.

Sämtliche Röntgenaufnahmen vor Reiz wurden auf dem Bucky-Tisch unter gleichbleibenden technischen Bedingungen aufgenommen. Die Patienten befanden sich in Bauchlage, wobei die rechte Körperseite um etwa 30° angehoben war. Die Röhrenspannung betrug stets 68 kV, der Röhrenstrom war, je nach Dicke des Untersuchten, 200 - 300 mA, so daß sich Belichtungszeiten unter 0,5 sec ergaben. Das Meßfeld der Belichtungsautomatik lag 1 - 2 cm rechts von der Wirbelsäule auf Höhe von L₁ und L₂ (siehe Abb. 9). Die Automatik schaltete bei einer Dosis ab, die ohne Streukörper unter den gegebenen photographischen Verhältnissen eine mittlere Schwärzung von $S = 0,8$, mit Streukörper $S = 0,7$ erzeugte. Die Feldgröße betrug 27 cm x 21 cm. Die Fokusgröße war 2 mm, der Fokus-Filmabstand 140 cm, der Objekt (vordere Bauchwand)-Filmabstand 7 cm. Bei diesen Abmessungen ist am Gallenblasenschatten mit einem Vergrößerungsfaktor von ungefähr 1,1 und einer geometrischen Unschärfe von etwa 0,25 mm zu rechnen. Weiterhin wurden verwendet: FFF Raster mit einem Schachtverhältnis von 12,5, Siemens-Saphir-Folie, Kodak-Regulix-Film. Die Entwicklung erfolgte automatisch mit dem X-omat (Kodak-Entwicklungsmaschine M 4; 7 Minuten-Entwicklung).

Nach Reiz wurden nur Zielaufnahmen mit einer Feldgröße von 11

cm x 8 cm angefertigt. Röhrenspannung und Belichtungsautomatik blieben gleich. Das Streustrahlenraster hatte ein Schachtverhältnis von 7. Die veränderten geometrischen Aufnahmebedingungen erzeugten einen Vergrößerungsfaktor von 1,3 - 1,4 und eine geometrische Unschärfe von 0,6 - 0,8 mm.

B. Einstellen des Meßgerätes und Meßvorgang

Die photometrische Auswertung der Röntgenaufnahmen geschah mit dem Mikrodensitometer von Joyce und Loeb1, Modell EI 2 MK III, wobei die Empfehlungen von Biedermann und Frieser (12) für die Mikrophotometrierung von Röntgenfilmen befolgt wurden.

Bei dieser Untersuchungsmethode werden nur sehr kleine Filmflächen, auf ihre Größe soll noch eingegangen werden, photometriert. Es ist daher notwendig, daß sowohl auf der einen Seite die Beleuchtung durch ein optisches System auf die Filmfläche konzentriert, auf der anderen Seite die interessierende, kleine Filmfläche auf dem Photoempfänger durch ein weiteres optisches System vergrößert wird. Röntgenfilme sind aber nun beidseitig begossen, d.h. sie haben unten und oben eine Emulsions-schicht mit einem Abstand von 200μ . Damit entbehrt dieses photographische Material eine einheitliche Ebene, auf die man den Meßstrahl einstellen könnte. Der notwendige Kompromiß, die Schärfeebene in die Mitte des Schichtträgers zu legen, bringt es mit sich, daß die beiden strahlensorbierenden Schichten jeweils 100μ außerhalb der besten Einstellung liegen. Befriedigende Ergebnisse lassen sich daher nur erzielen, wenn die numerische Apertur der Beleuchtungs- und Meßoptik 0,1, höchstens 0,2 ist. Bei den hier durchgeführten Messungen wurde stets mit einer Beleuchtungsapertur von 0,12, und einer Meßapertur von 0,1 gearbeitet.

Die Körnigkeit von Röntgenfilmen ist sehr hoch, insbesondere wenn, wie bei den hier ausgewerteten Aufnahmen, mit Verstärkerfolien gearbeitet wurde. Durch unregelmäßige Anordnung der Körner treten selbst in gleichmäßig belichteten Filmabschnitten örtliche Schwärzungsschwankungen auf, die sich umso stärker bemerkbar machen, je kleiner die Meßfläche ist, mit der der Film abgetastet wird. Biedermann und Frieser fordern deshalb bei Röntgenfilmen Meßflächen von 5000 bis $30000\mu^2$. Wir wählten eine Spaltbreite von 30μ und eine Spalthöhe von 270μ , was eine Flä-

che von etwa $8000\mu^2$ ergibt. Der Vorspalt betrug 50μ . Die bei dieser Einstellung auftretenden Schwärzungsschwankungen beeinträchtigten weder die Zuordnung von Photometerausschlägen zu bestimmten Bilddetails, noch erschwerten sie deren Kontrastbestimmung (siehe Abb. 10, 11, 12, 13).

Die Ausschläge eines Mikrodensitometers für bestimmte Schwärzungen sind von der Geometrie der Meßanordnungen, auf die oben kurz eingegangen wurde, abhängig. Die so gewonnenen Meßwerte bedürfen deshalb einer Umrechnung auf die sog. "diffuse Schwärzung", deren Meßbedingungen im DIN-Blatt 4512 standardisiert sind. Ein Röntgengraukeil, dessen Schwärzungsstufen mit dem Transmission-Densitometer "Quanta Log" Modell TD-100, von der Macbeth Corporation, ermittelt wurden, ermöglichte die Eichung der Mikrodensitometerausschläge.

Um stets eine Beziehung zwischen der aufgezeichneten Photometerkurve und den entsprechenden Stellen auf der Röntgenaufnahme herstellen zu können, wurde so vorgegangen. Nachdem das Photogramm zwischen zwei Glasplatten auf dem Drehtisch fixiert war, wurde dieser so eingestellt, daß bei seiner Bewegung sich der Meßstrahl zwischen zwei Bleistiftmarkierungen bewegte, die den Anfang und das Ende der Meßstrecke auf dem Bild festlegten (siehe Abb. 9). Während des Meßvorgangs gleitet der Lichtstrahl mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 40 mm/min über den Film. Fünf mal so schnell bewegt sich das Millimeterpapier an der registrierenden Feder vorbei, so daß der Abbildungsmaßstab der Schreiberkurve gegenüber dem Röntgenfilm 5 : 1 beträgt.

Alle bisher genannten Versuchsanordnungen blieben während der gesamten Untersuchungen konstant. Nur der Meßbereich des Apparates wurde durch Verstellen des Gerätegraukeils dem jeweiligen Schwärzungsbereich einer Aufnahme angepaßt. Ebenso konnte die Meßempfindlichkeit durch Anwendung verschiedener Gerätegraukeile auf die Größe der zu ermittelnden Kontraste abgestimmt werden. Jede derartige Maßnahme erforderte stets eine neue Eichung.

Aus der geeichten Mikrodensitometerkurve kann die Schwärzung einer bestimmten Filmstelle direkt abgelesen werden. Die Schwärzung ist ein Maß für die Lichtdurchlässigkeit einer entwickelten photographischen Schicht und leitet sich deshalb vom Ver-

hältnis des auffallenden Lichtstromes I_0 zum durchgelassenen I_{ab} :

$$S = 10 \frac{I_0}{I_1}$$

In der Literatur werden eine Reihe unterschiedlicher Kontrastformeln angegeben (Biedermann u.a. (13)). In der vorliegenden Arbeit wird die Kontrastdefinition

$$K = \Delta S = S_1 - S_2 = \log \frac{I_2}{I_1} \quad \text{verwendet.}$$

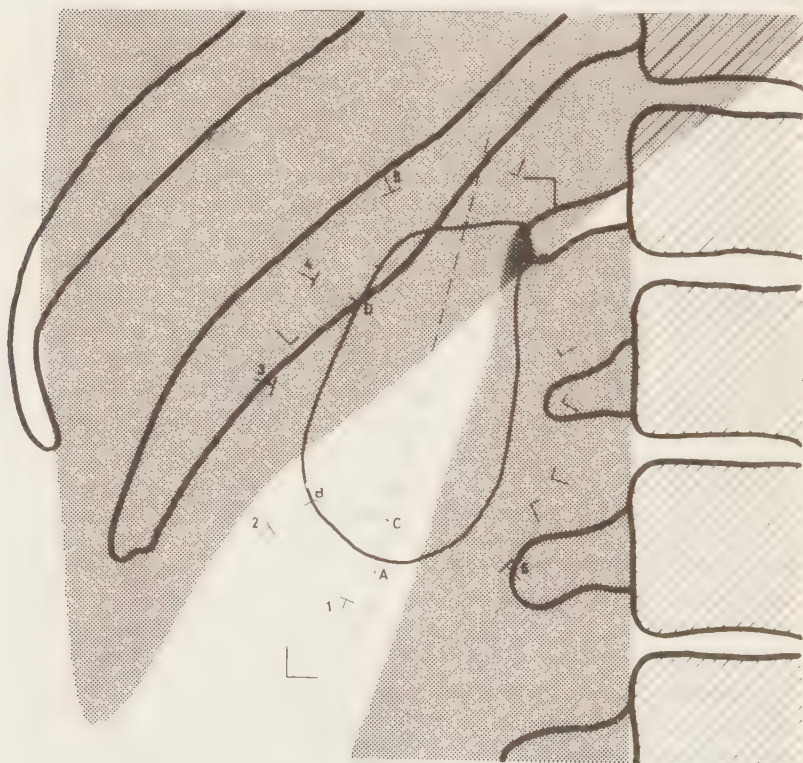


Abb. 9 Schematische Darstellung eines Cholezystogramms, um die Anordnung der mikrophotometrischen Meßlinien und die Bestimmung des sog. Fundusabstands zu erläutern.

— Anfang und — Ende einer Meßlinie; - - - - - Längsachse des Gallenblasenschattens; AC = Fundusabstand für den Punkt B;
 Markierung des Meßfeldes der Belichtungsautomatik.

II. Schwärzungskontraste normaler intravenöser und peroraler Cholezystogramme

A. Bestimmung der Schwärzungskontraste

Durch jedes ausgewertete Cholezystogramm wurden, je nach Größe des Gallenblasenschattens, sechs bis neun Meßlinien gelegt, die gleichmäßig über das gesamte Objekt verteilt waren, um so ein möglichst vollständiges Bild vom Verhalten der Schwärzungen des Gallenblasenschattens und seiner Umgebung zu gewinnen (siehe Abb. 9). Bei der Auswertung der Photometerkurven, von denen in Abbildung 10, 11, 12 und 13 einige als Beispiel gezeigt werden, wurde wie folgt vorgegangen. Aus 2 bis 3 cm langen Kurvenstücken, die an den Gallenblasenschatten grenzen, wurde der Mittelwert gebildet und daraus die Umgebungsschwärzung ermittelt. Der Photometerausschlag, der sich auf der Kurve exakt 3 cm nach Überschreiten des Gallenblasenrandes, also auf dem Röntgenfilm 0,6 cm tief im Gallenblasenschatten ergab, diente zur Bestimmung der Schwärzung des Gallenblasenschattens. Die Differenz zwischen beiden Werten ergibt den Schwärzungskontrast ΔS . Es wurde darauf geachtet, daß an jenen Stellen, an denen die Kontraste ermittelt wurden, die Umgebung der Gallenblase mit der Unterlage, auf die sie sich projiziert, möglichst weitgehend übereinstimmt. Durch zufällige Lagebeziehungen veränderte Kontraste, wie sie sich ergeben, wenn Gasblasen, Rippen oder Wirbelkörper unmittelbar an den Gallenblasenschatten grenzen, wurden nicht verwendet. Ein Beispiel dazu bringt Abbildung 9 in der Meßlinie 4. Der Kontrast im Übergang D ist reduziert, da die Umgebungsschwärzung vom Schatten der 12. Rippe bestimmt wird, im Gallenblasenschatten aber diese nicht mehr vorhanden ist.

Um eine Möglichkeit zu haben, Schwärzungskontraste, bzw. Schwärzungen der Gallenblase und ihrer Umgebung, die in einem Cholezystogramm ermittelt wurden, zueinander in Beziehung setzen zu können, wurde ein Maß geschaffen, das die Meßstellen am Gallenblasenschattenrand definiert, der sog. Fundusabstand. Durch den Gallenblasenschatten wird eine Längsachse gelegt mit dem Schnittpunkt A am Gallenblasenfundus (siehe Abb. 9). Lotet man nun den Schnittpunkt einer beliebigen Meßlinie mit dem Rand des Gallenblasenschattens, also einen Meßpunkt, auf die Längsachse, so ist

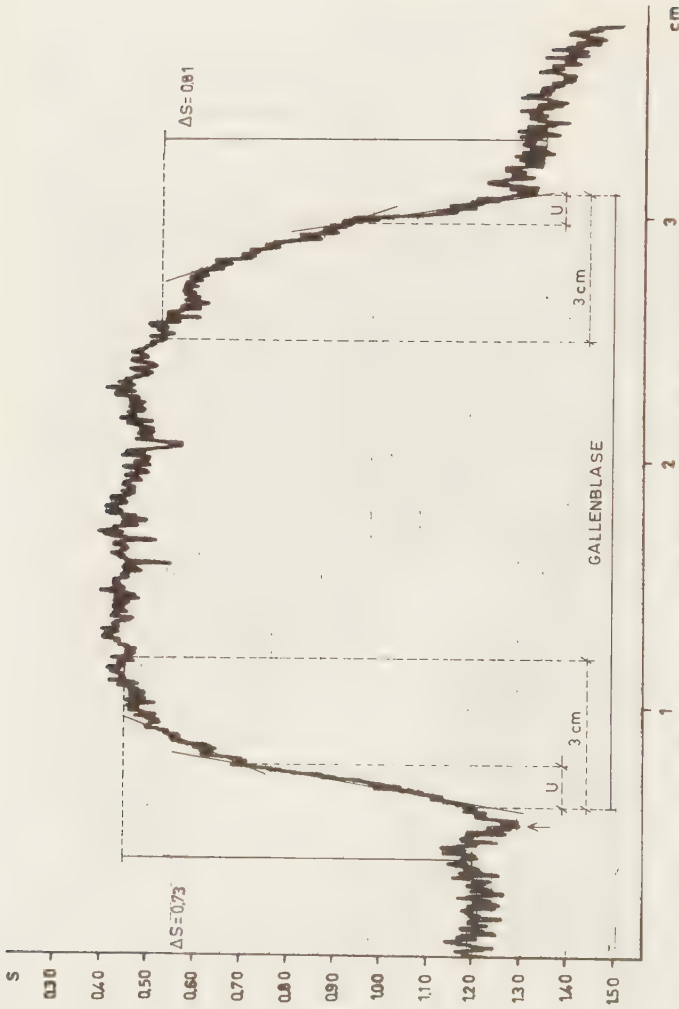


Abb. 10 Erklärung der Meßmethode an Hand einer Mikrophotometerkurve durch das un-
tere Korpusdrittel eines peroralen Cholezystogramms, das etw. 12 Std. nach Einnah-
me des Kontrastmittels angefertigt wurde. Entgegen der sonst üblichen Darstellung
wurden, des plastischeren Bildeindrucks wegen, die Schwärzungen in umgekehrter
Richtung aufgetragen.

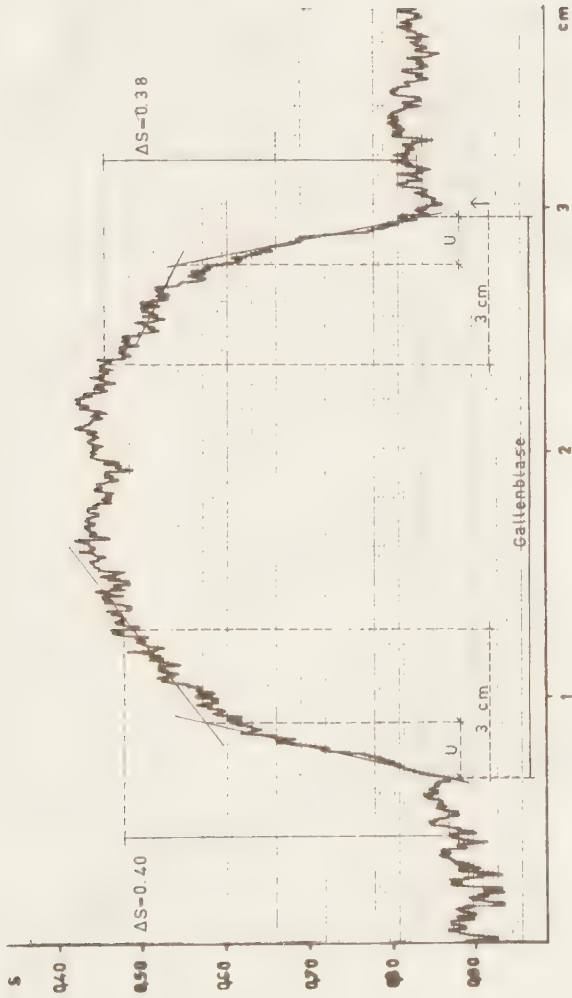


Abb. 11 Mikrophotometerkurve durch das obere Korpusdrittel eines intravenösen Cholezystogramms, das 90 Minuten post injektionem angefertigt wurde.

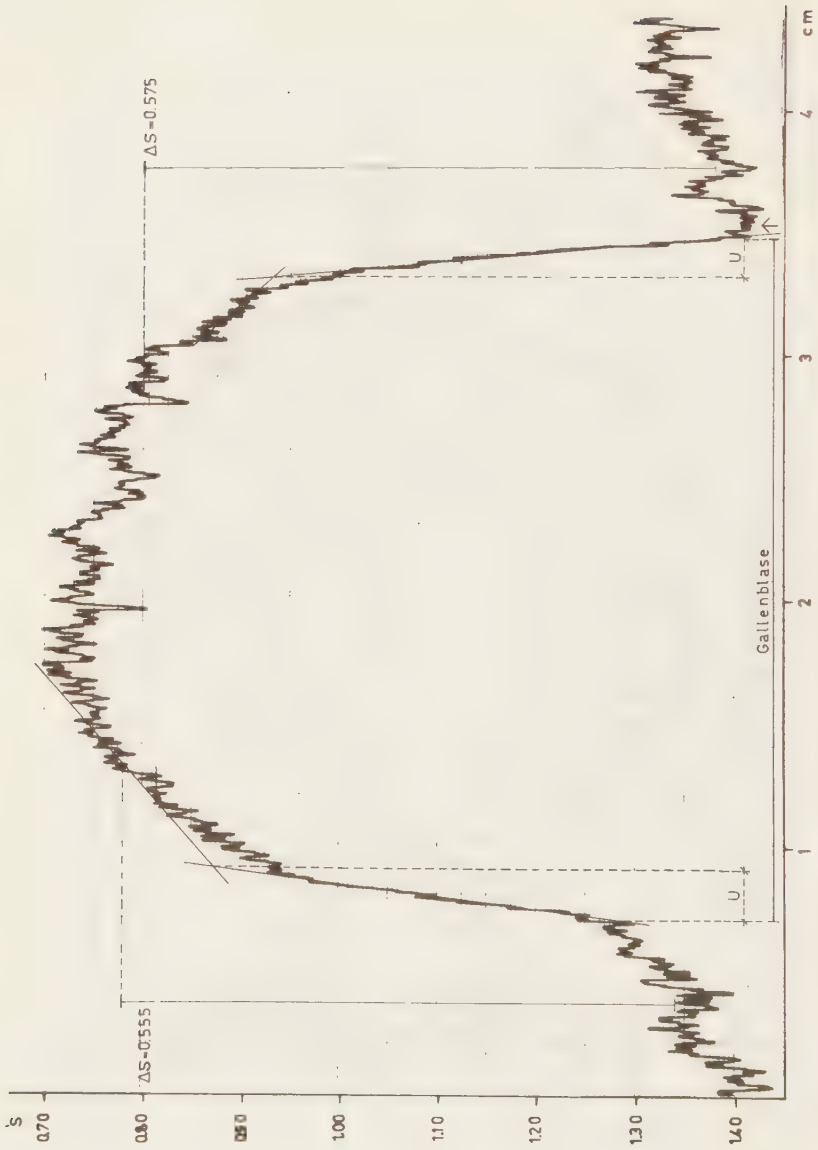


Abb. 12 Mikrophotometerkurve durch ein i.v. Cholezystogramm, 30 min n.R. (Zielaufn.)

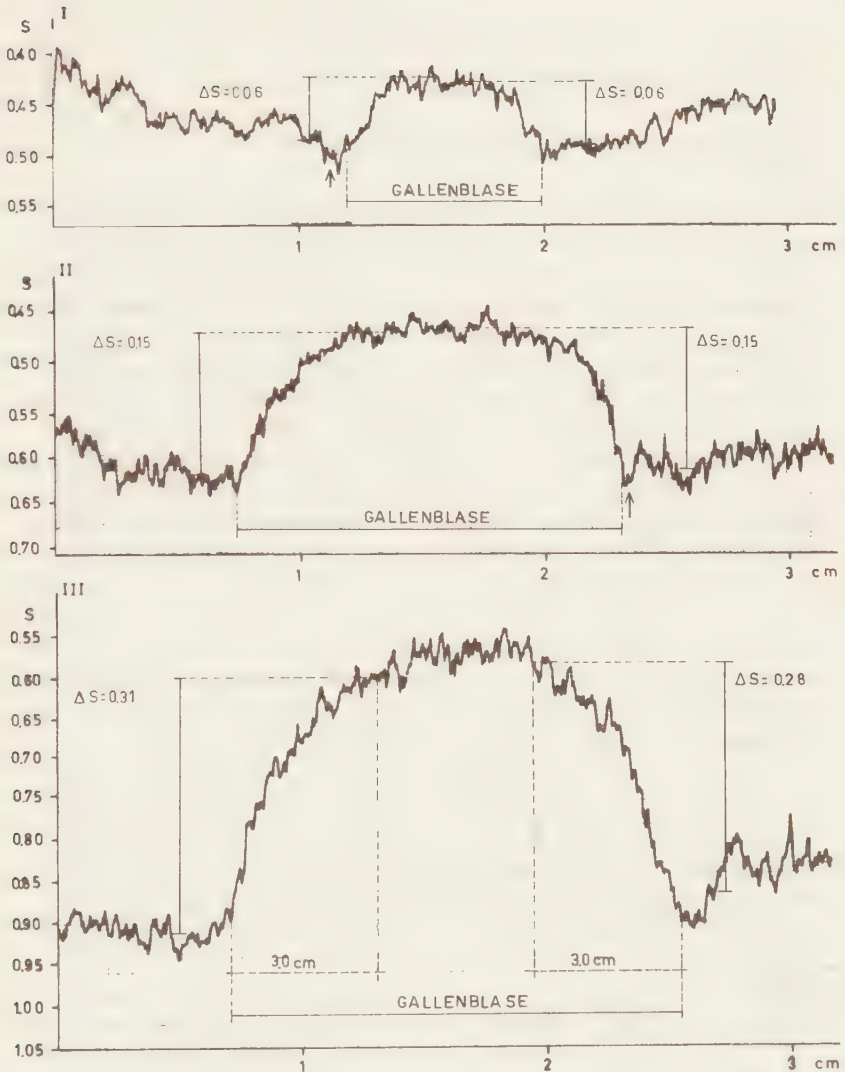


Abb. 13 Mikrophotometerkurve durch ein perorales Cholezystogramm, 15 Minuten nach Reiz (Zielaufnahme); I durch das Kollum, II durch das obere Korpusdrittel, III durch das mittlere Korpusdrittel.

jene Strecke, die von A und dem Fußpunkt des Lotes begrenzt wird, der Fundusabstand. In der Abbildung 9 ist die Strecke $\overline{AC}$ der Fundusabstand für B.

B. Verhalten des Schwärzungskontrastes innerhalb eines Cholezystogramms

Die Abbildungen 14 und 15 zeigen das Verhalten des Schwärzungskontrastes zum Fundusabstand bei jeweils sechs peroralen und intravenösen Cholezystogrammen. Sie wurden willkürlich aus den insgesamt zwanzig ausgewerteten Gallenblenderstellungen ohne pathologischen Befund ausgewählt.

Die Formen dieser zwölf Kurven differieren wohl im einzelnen ziemlich stark, was bei der unterschiedlichen Form und Lage der Gallenblasen nicht weiter verwunderlich ist. Eines läßt sich aber übereinstimmend feststellen: die größten Schwärzungskontraste finden sich stets entweder gleich am Fundus oder nach einem kurzen Anstieg im unteren Korpusdrittel. Mit zunehmendem Fundusabstand fallen die Kontraste mehr oder weniger steil ab, um am Gallenblasenhals nur noch 10 - 20% des Maximalwertes zu betragen. Weiterhin ist bemerkenswert, daß dieser Abfall bei den peroralen Cholezystogrammen noch ausgeprägter ist, als bei den intravenösen, d.h. bei den erstgenannten sind die Kontraste im Infundibulum- und Kollumbereich noch niedriger.

Um Aufschluß darüber zu bekommen, welche Faktoren für den Kontraststurz verantwortlich gemacht werden können, wurde für je zwei Kurven aus beiden Abbildungen das Verhalten der Schwärzungen von Umgebung und Gallenblasenschatten dargestellt (siehe Abb. 16, 17). Es fällt auf, daß die oberen Gallenblasenschnitte stets in einer helleren Umgebung liegen, d.h. sich auf eine weniger dunkle Unterlage projizieren (siehe auch Abb. 13). Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß häufig nur die oberen Anteile des Gallenspeichers in den Bereich des Leberschattens zu liegen kommen, und dieser sich außerdem nach oben hin mehr und mehr vertieft. In den Abbildungen 16 und 17 ist das Gallenblasenstück markiert, das sich in den Leberschatten projiziert. Im gesamten untersuchten Bildmaterial lag das untere Gallenblasendrittel in einer Umgebung, deren Schwärzung S durchschnittlich um 0,55 größer war, als die des oberen Gallenblasendrittels, wobei auch Schwärzungsdifferenzen von 0,2 - 1,0

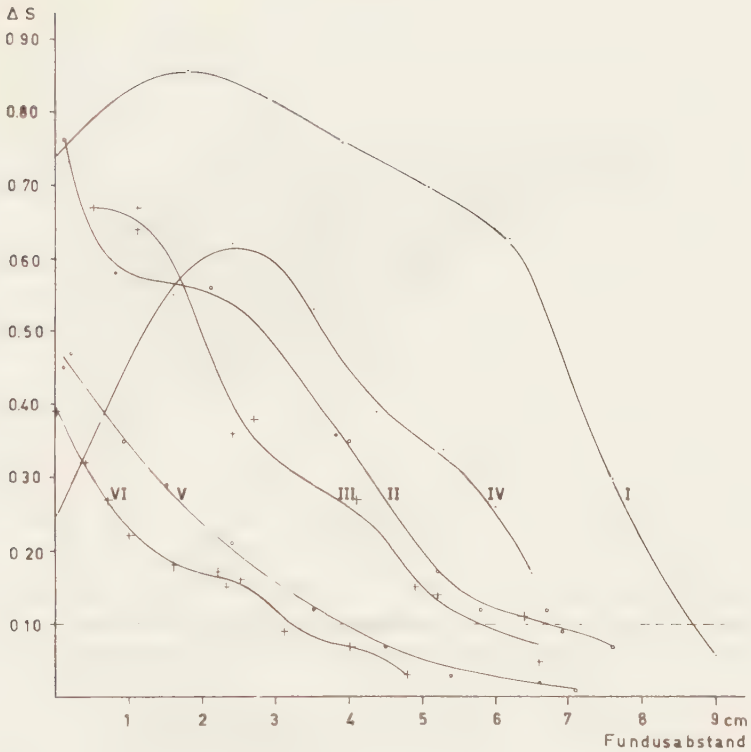


Abb. 14 Verhalten des Schwärzungskontrastes ΔS zum Fundusabstand bei peroralen Cholezystogrammen, die etwa 12 Stunden nach Einnahme des Kontrastmittels angefertigt wurden. Schwärzungsbereich des

Gallenblasenschattens und der Umgebung:

I	0,55 - 0,90	0,90 - 1,40
II	0,70 - 0,80	0,80 - 1,40
III	0,45 - 0,60	0,65 - 1,25
IV	0,40 - 0,60	0,75 - 1,05
V	0,50 - 0,55	0,55 - 0,90
VI	0,40 - 0,45	0,50 - 0,75

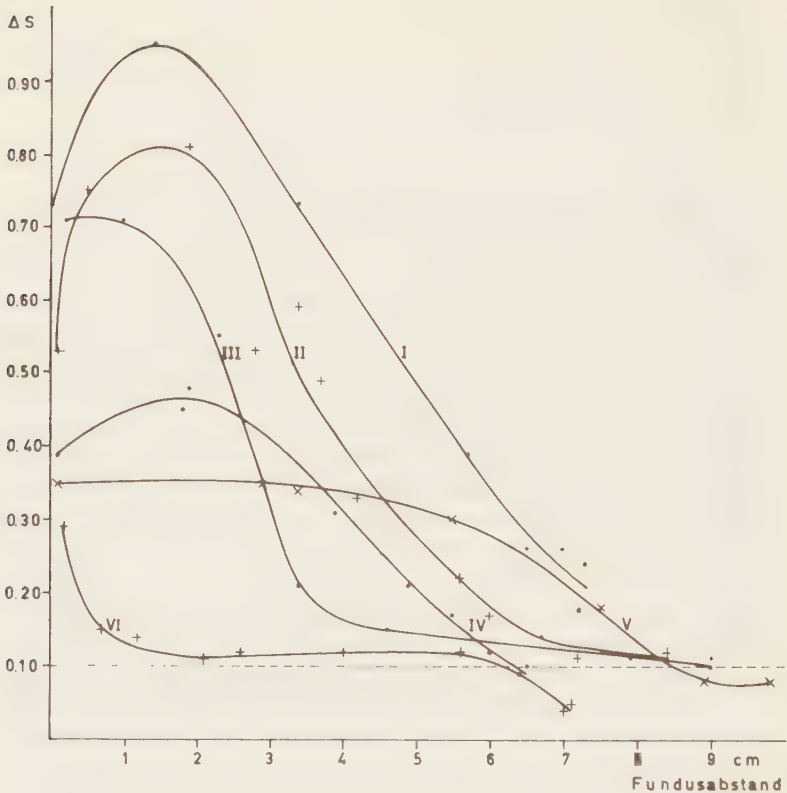


Abb. 15 Verhalten des Schwärzungskontrastes ΔS zum Fundusabstand bei intravenösen Cholezystogrammen, die 90 Minuten nach Injektion angefertigt wurden.

Schwärzungsbereich des

Gallenblasenschattens und der Umgebung:

I	0,45 - 0,70	0,70 - 1,70
II	0,50 - 0,95	0,70 - 1,65
III	0,40 - 0,75	0,55 - 1,45
IV	0,40 - 0,50	0,55 - 0,90
V	0,55 - 0,64	0,65 - 0,95
VI	0,35 - 0,45	0,40 - 0,75

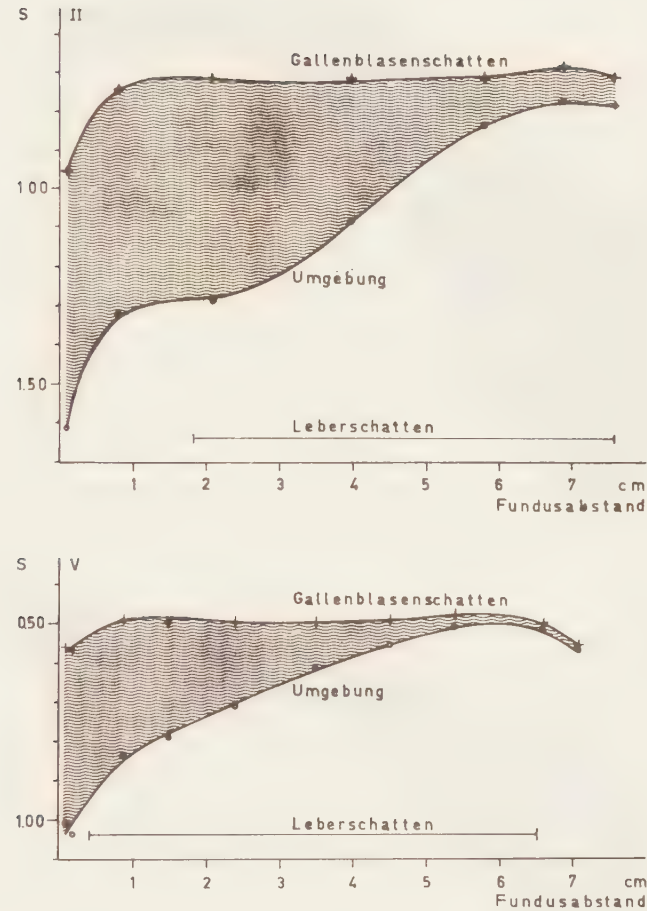


Abb. 16 Verhalten der Schwärzungen S von Umgebung und Gallenblasenschatten zum Fundusabstand bei den peroralen Cholezystogrammen II und V der Abb. 14. Der gepunktete Bereich entspricht dem Schwärzungscontrast ΔS . Das Gallenblasenstück, das sich in den Leberschatten projiziert, ist markiert.

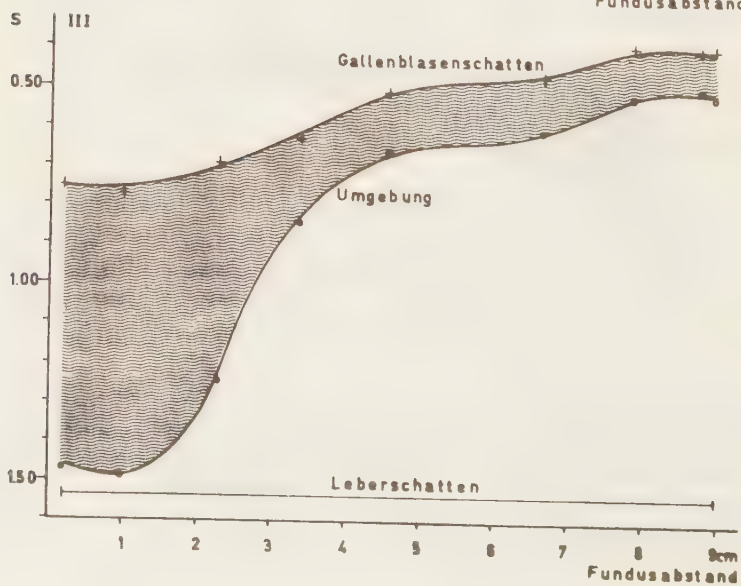
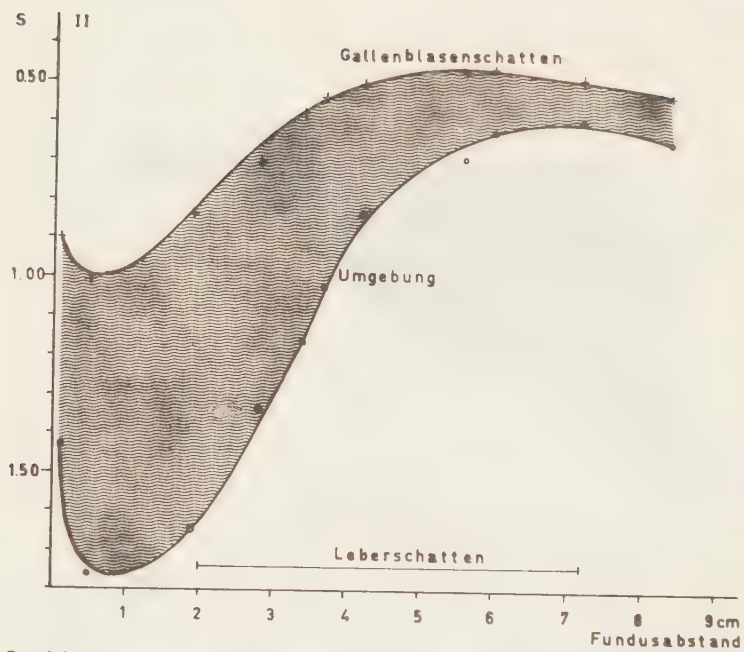


Abb. 17 Verhalten der Schwärzungen S von Umgebung und Gallenblasenschatten zum Fundusabstand bei den intravenösen Cholezystogrammen II und III der Abb. 15.

beobachtet wurden.

Somit stellt sich die Frage, inwieweit das verwendete Filmmaterial, d.h. dessen Gradationskurve den gezeigten Kontrastabfall mit bedingt. Einen Hinweis darauf erhält man schon aus den Abbildungen 14 und 15. Bei diesen willkürlich ausgewählten Cholezystogrammen findet sich eine klare Abhängigkeit der Kontraste von der Belichtung. Aufnahmen mit den größten Umgebungsschwärzungen erbrachten auch die größten Kontraste, unterbelichtete Cholezystogramme, wie etwa V und VI der Abb. 14 und VI der Abb. 15, liegen im untersten Kontrastbereich. Die ungünstige Belichtung der drei letztgenannten Fälle kam dadurch zustande, daß die Gallenblasen ungewöhnlich weit lateral und kranial lagen, damit in den tiefsten Leberschatten projiziert wurden und völlig außerhalb des Meßfeldes der Belichtungsautomatik zu liegen kamen.

C. Einfluß der Gradationskurve auf Schwärzungscontraste im Cholezystogramm

Um eine Vorstellung darüber zu gewinnen, wie Strahlenkontraste aus verschiedenen Dosisbereichen in Schwärzungscontraste umgesetzt werden, wurde eine Aluminiumtreppe mit acht gleich hohen Stufen unter den Bedingungen aufgenommen, unter denen auch die Cholezystogramme angefertigt wurden (siehe Abb. 18).

Als Streukörper diente eine insgesamt 20 cm dicke Wassersäule, da sich beim untersuchten Patientengut für jenen Ort, an dem sich der Gallenblasenfundus auf die vordere Bauchwand projiziert, ein mittlerer sagittaler Durchmesser von 20 cm ergab. Das Meßfeld der Belichtungsautomatik bedeckte eine 0,7 cm starke Aluminiumplatte, da die Grundfläche der Aluminiumtreppe zu klein war. Die erste Aufnahme wurde mit leeren Wasserbehältern, also ohne Streukörper aufgenommen. Die Belichtungsautomatik schaltete bei einer Dosis ab, die unter den gegebenen photographischen Verhältnissen eine mittlere Schwärzung von $S = 0,8$ ergab. Mit Streukörper war $S = 0,7$. Die Schleierschwärzung betrug $S = 0,21$. In der Abb. 19 sind die Stufen der Treppe von

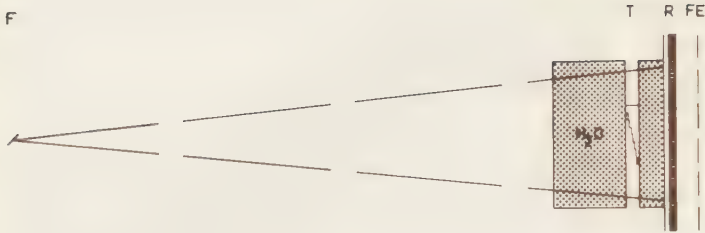


Abb. 18 Versuchsanordnung

F = Fokus; Tr = Aluminiumtreppe mit 8 Stufen, Stufenhöhe 3 mm; R = Streustrahlenraster; FE = Filmebene; Fokus-Film-Abstand = 140 cm; Feldgröße 27 cm x 21 cm; Streukörpergröße 30 cm x 30 cm; Streukörperdicke vor der Aluminiumtreppe 15 cm, hinter der Aluminiumtreppe 5 cm.

unten nach oben mit 1 bis 8 bezeichnet.

Den Einfluß der Gradationskurve auf die Schwärzungskontraste eines bestimmten Objektes kann man nur beurteilen, wenn man den Kurvenabschnitt kennt, der dafür zuständig ist, d.h. für unsere Fragestellung: welche Schwärzungen wurden im Gallenblasenschatten und dessen Umgebung gefunden (siehe Abb. 20). Im Gallenblasenschatten lagen die Schwärzungen zwischen 0,32 und 1,30, wobei sich von 0,40 bis 0,79 75% aller Werte fanden. Zu 58% waren die Schwärzungen des Gallenblasenschattens kleiner als $S = 0,6$. Die Umgebungsschwärzung umfasste einen Bereich von 0,37 bis 2,04; rund 70% der Werte waren zwischen 0,5 und 1,09.

An Hand der Filmschwärzungskurve mit Streukörper der Abbildung 19 lassen sich sämtliche Schwärzungskontraste, die in einem Cholezystogramm ermittelt wurden, auf eine, in allen Gallenblasenabschnitten gleichbleibende Umgebungsschwärzung umrechnen, d.h. Fundus und Gallenblasenhals liegen nun im gleichen Schwärzungsbereich, die Gradationskurve hat auf das Verhalten der Schwärzungskontraste innerhalb eines Cholezystogramms keinen Einfluß mehr. So wurden für jeweils vier Cholezystogramme aus Abb. 14 und 15 eine Umgebungsschwärzung von $S = 1,0$ zugrunde gelegt. Der Maßstab für die Kontraste und den Fundusabstand sowie die Kurvenbezeichnungen wurden in Abb. 21 u. 22 beibehalten.

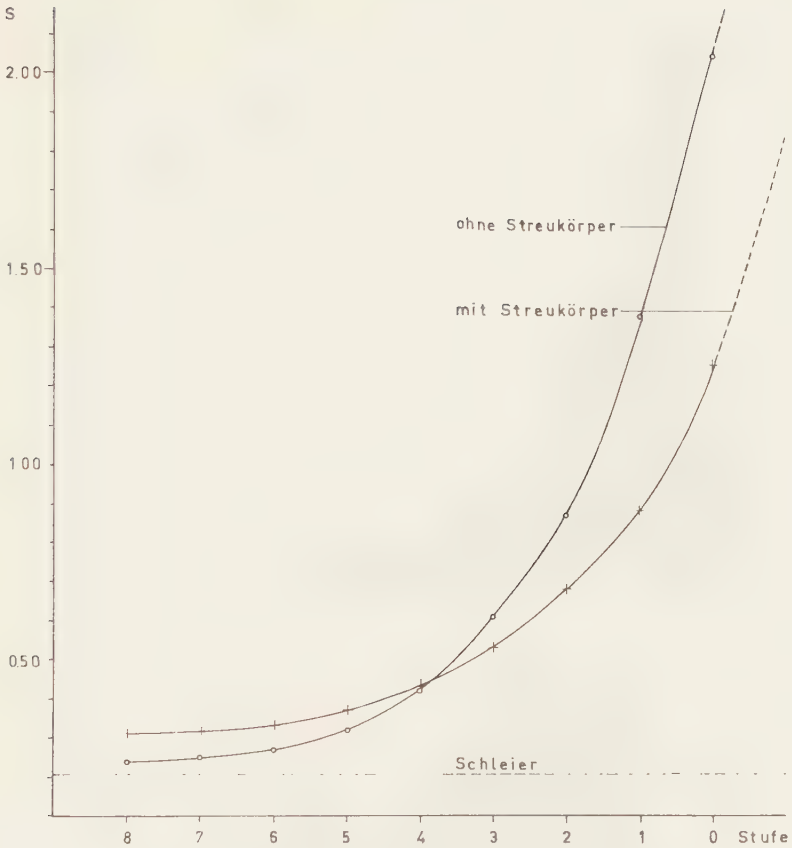


Abb. 19 Gradationskurve des für die Cholezystogramme verwendeten Filmmaterials (Kodak-Regulix-Film). Intensitätsabstufung durch Aluminiumtreppe mit den Stufen 1 bis 8. Schleierwert durch Unterlage und Entwicklung $S = 0,21$.

Beim Vergleich der Abb. 14 mit Abb. 21 bzw. Abb. 15 mit Abb. 22 fällt auf, daß die Kurven nach Umrechnung stark zusammengedrückt sind und sich in ihrer Form angeglichen haben. Während die peroralen Cholezystogramme zunächst ein Schwärzungscontrastspektrum

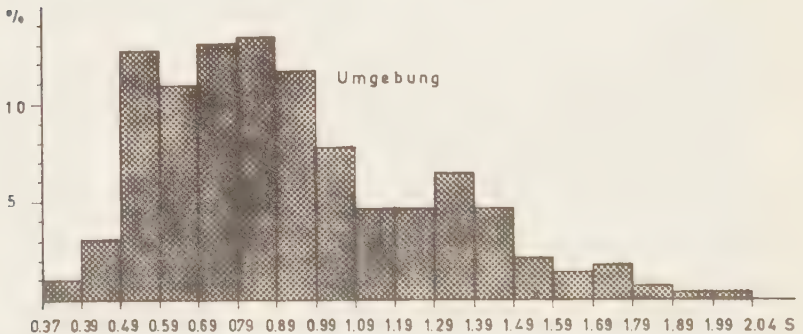
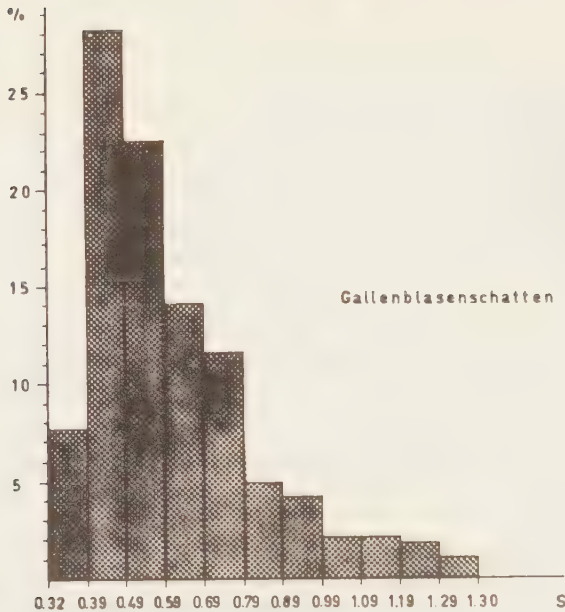


Abb. 20 Häufigkeitsverteilungsdiagramm der Schwärzungen von Gallenblasenschatten und Umgebung aus zehn peroralen und zehn intravenösen, pathologisch nicht veränderten Cholezystogrammen.

von 0,01 bis 0,86, die intravenösen von 0,05 bis 0,95 aufwiesen, zeigen sich nach Umrechnung Bereiche von 0,05 bis 0,54 bzw. 0,20 bis 0,48.

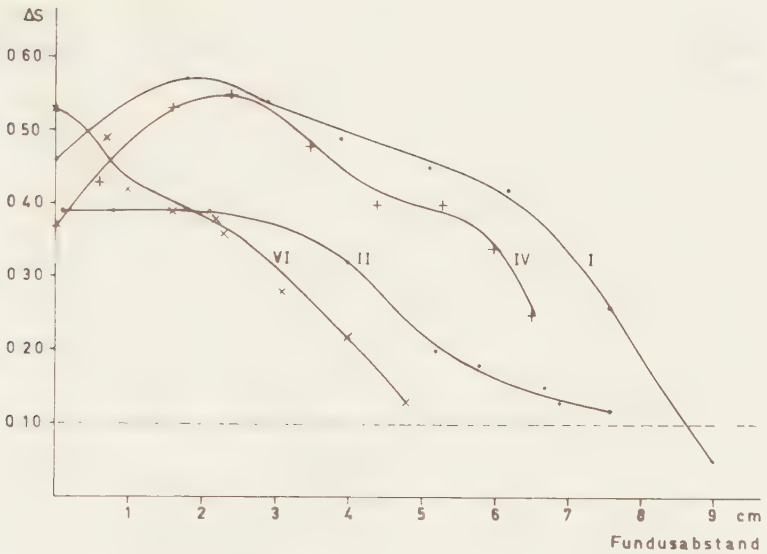


Abb. 21 Die Schwärzungskontraste der peroralen Cholezystogramme I, II, IV und VI der Abb. 14 wurden auf eine Umgebungsschwärzung von $S = 1,0$ umgerechnet.

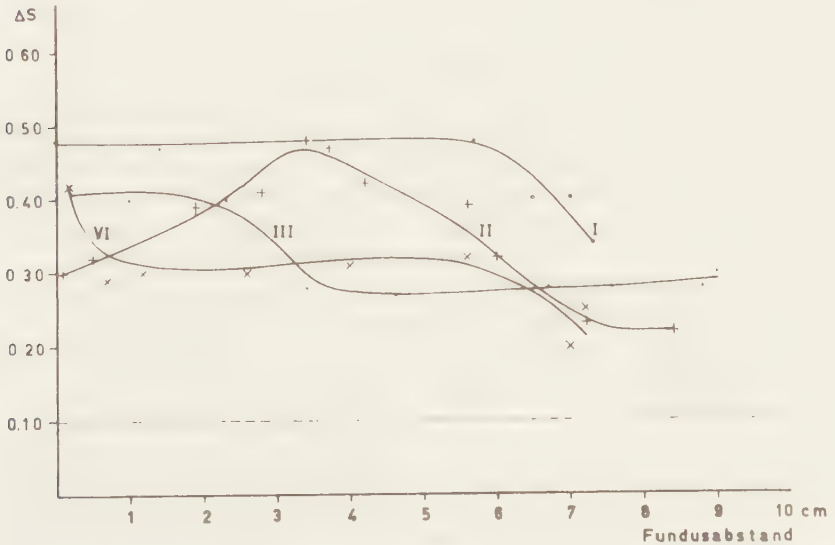


Abb. 22 Die Schwärzungskontraste der intravenösen Cholezystogramme I, II, III und VI der Abb. 15 wurden auf eine Umgebungsschwärzung von $S = 1,0$ umgerechnet.

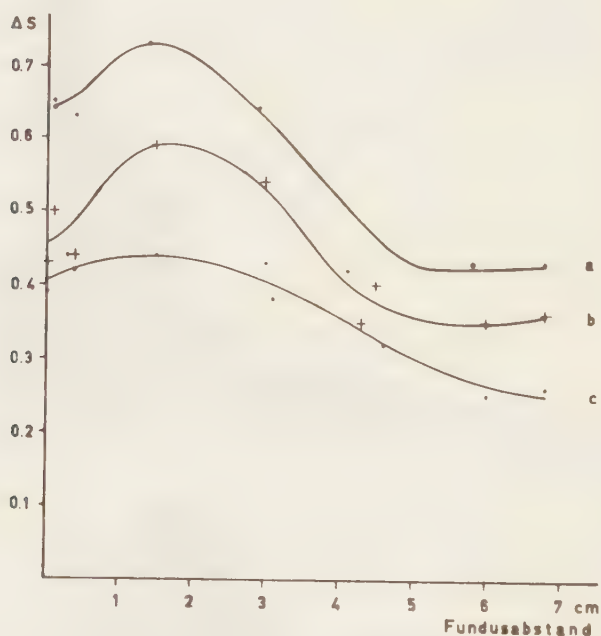


Abb. 23 Einfluß der Belichtung auf die Schwärzungskontraste in einem Cholezystogramm. Von einer intravenös kontrastgefüllten Gallenblase wurden 120 min. p.i. drei Aufnahmen bei verschiedener Einstellung der Belichtungsautomatik angefertigt. Schwärzungsbereich des

Gallenblasenschattens und der Umgebung:

a (+ Taste)	0,65 - 0,90	0,90 - 1,50
b (normal)	0,60 - 0,75	0,80 - 1,25
c (- Taste)	0,45 - 0,55	0,60 - 0,95

Bemerkenswert ist, wie sehr sich die beiden entferntesten Kurven I und VI beider Abbildungen einander nähern. Während bei den peroralen Cholezystogrammen auch nach Zugrundelegung einer

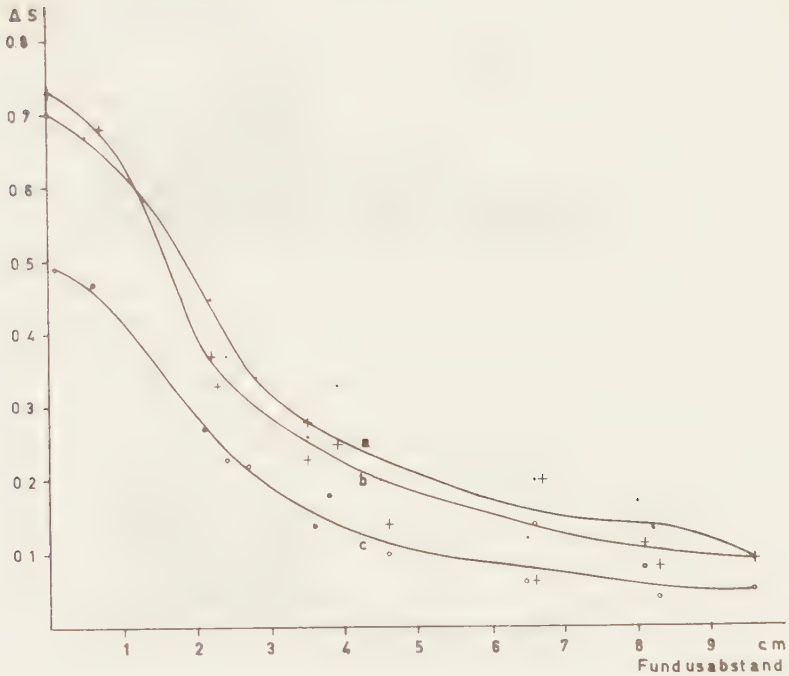


Abb. 24 Einfluß der Belichtung auf die Schwärzungscontraste in einem Cholezystogramm (105 min. p.i.). Schwärzungsbereich des Gallenblasenschattens und der Umgebung:

a (+ Taste)	0,90 - 1,70	1,05 - 2,20
b (normal)	0,80 - 1,30	0,85 - 1,80
c (- Taste)	0,60 - 1,00	0,65 - 1,30

gleichbleibenden Umgebungsschwärzung die Contraste in den oberen Gallenblasenabschnitten auf 10 - 45%, durchschnittlich 30%, der maximalen Contrastwerte absinken, finden wir bei den intra-venösen Gallenblasendarstellungen nur noch einen Abfall auf 45 - 70%, im Durchschnitt 60%.

Wie sich die Darstellung einer mit Contrastgalle gefüllten Gallenblase bei unterschiedlicher Belichtung der Photogramme ändert, zeigen Abb. 23 und 24.

Von unserer Standardeinstellung der Belichtungsautomatik ausgehend wurde jeweils eine Aufnahme mit erhöhter (+ Taste) und verminderter Schwärzung (- Taste) angefertigt. Die Erhöhung und Erniedrigung bewegt sich in der Größenordnung der verschiedenen Verstärkerfolien (feinzeichnende etwa 100% mehr Dosis; hochverstärkende etwa 50% weniger Dosis).

In Abb. 23 liegen die Schwärzungskontraste einmal etwa 20% über und einmal etwa 20% unter dem Kontrastniveau der Normaleinstellung. Es muß darauf hingewiesen werden, daß Schwärzungsverhältnisse, wie sie sich hier bei verkürzter Einstellung der Belichtungsautomatik ergeben (Schwärzungen des Gallenblasenschattens liegen zwischen 0,45 und 0,55), in anderen Cholezystogrammen auch bei der sogenannten Normaleinstellung vorkommen.

Liegt dagegen, wie es in Abb. 24 der Fall ist, der Gallenblasenschatten schon bei normaler Belichtung in einem optimalen Schwärzungsbereich (Schwärzungen im Gallenblasenschatten liegen nicht unter $S = 0,8$), so bringt eine verlängerte Belichtung kaum mehr eine Verbesserung des Kontrastes. Die verkürzte Einstellung der Automatik dagegen wirkt sich wiederum in einer Kontrastabschwächung von etwa 25 - 30% aus.

D. Vergleich der Schwärzungskontraste normaler peroraler und intravenöser Cholezystogramme

Zur Auswertung kamen zehn perorale Cholezystogramme, die etwa 12 Stunden nach Biloptyneinnahme angefertigt wurden und die gleiche Zahl intravenös kontrastgefüllte Gallenblasen, 90 min. nach Injektion aufgenommen. Jedes Bild brachte durchschnittlich vierzehn Schwärzungskontrastwerte, wobei darauf geachtet wurde, daß die Orte der Messungen stets möglichst gleichmäßig über den gesamten Gallenblasenschatten verteilt waren.

Bei den intravenösen Cholezystogrammen liegen die Kontraste zwischen 0,02 und 0,93, bei den peroralen zwischen 0,01 und 0,88 (siehe Abb. 25). Während der Kontrastbereich beider Bildgruppen weitgehend übereinstimmt, ist die Häufigkeitsverteilung der Kontraste etwas unterschiedlich. Rund 80% aller Schwärzungskontraste aus den intravenösen Cholezystogrammen liegen zwischen $\Delta S = 0,05$ und 0,40; in die gleiche Spanne fallen bei den peroralen Gallenblasendarstellungen nur 61% der gemessenen Werte. Bemerkenswert ist weiterhin, daß bei den letztgenannten

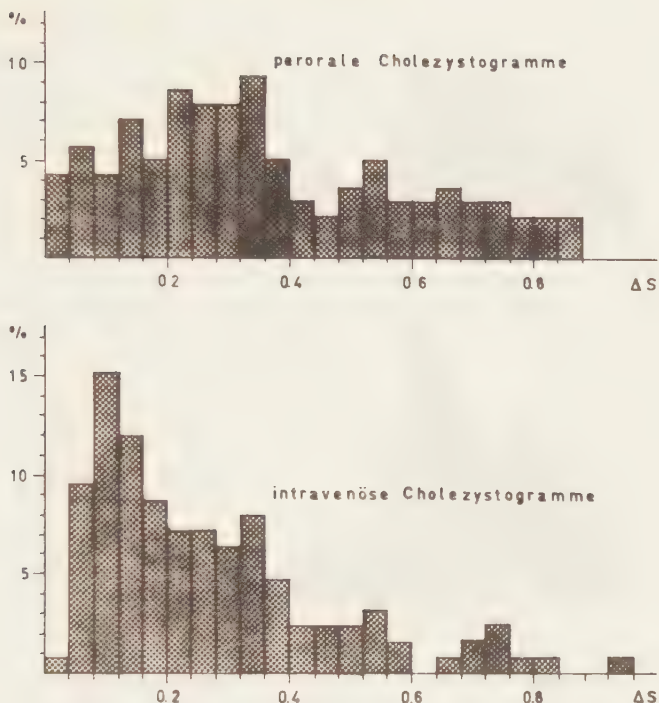


Abb. 25 Häufigkeitsverteilungsdiagramm der Schwärzungskontraste normaler Cholezystogramme. Die Photogramme der peroral kontrastgefüllten Gallenblasen wurden 12 Stunden nach Einnahme von Biloptin angefertigt, die intravenösen Cholezystogramme 90 min. p.i.

Photogrammen sehr kleine Kontraste (ΔS unter 0,05) gut fünfmal so häufig vorkommen wie bei den erstgenannten.

E. Vergleich der Schwärzungskontraste normaler peroraler Cholezystogramme vor und nach einer Reizmahlzeit

In drei Häufigkeitsverteilungsdiagrammen sind die Schwärzungs-kontraste aus jeweils 10 Cholezystogrammen wiedergegeben, die 12 Stunden nach Biloptineinnahme, sowie 15 und 30 Minuten nach Reiz angefertigt wurden (siehe Abb. 26)

Der Schwärzungs-kontrastbereich von $\Delta S = 0,01 - 0,88$ ist 15 min.

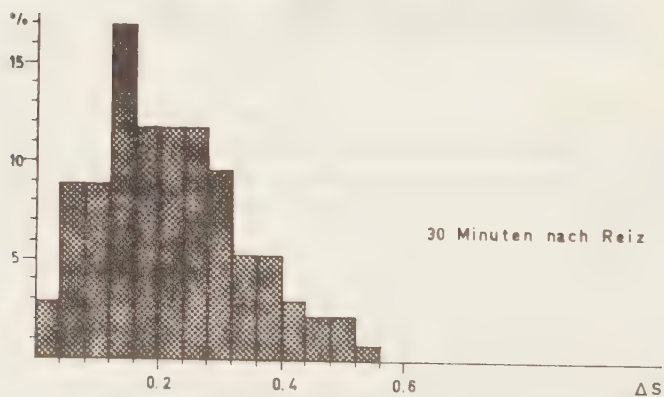
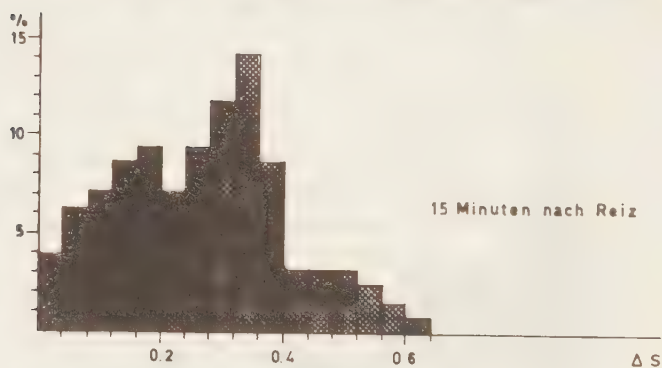
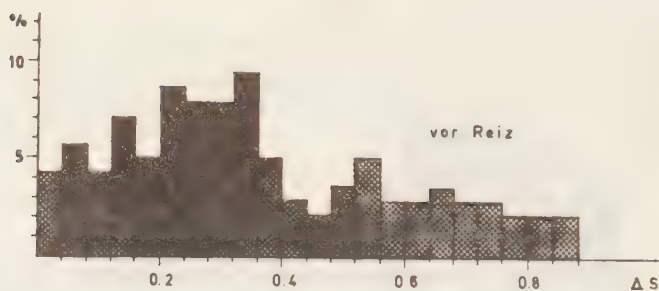


Abb. 26 Häufigkeitsverteilungsdiagramme der Schwärzungskontraste von peroralen Cholezystogrammen, die etwa 12 Stunden nach Kontrastmitteleinnahme, sowie 15 und 30 Minuten nach einer Reizmahlzeit angefertigt wurden. Bei den Bildern nach Reiz handelt es sich um Zielaufnahmen.

nach Gabe der Reizmahlzeit auf $\Delta S = 0,02 - 0,61$ und eine weitere Viertelstunde später auf $\Delta S = 0,02 - 0,55$ zusammengeschrumpft. Zwischen $\Delta S = 0,05 - 0,40$ liegen vor Reiz 61% der Schwärzungskontraste, 15 Minuten danach sind es 82%, 30 Minuten nach Reiz 89%.

Wie sich bei der Kontraktion des mit Kontrastgalle gefüllten Gallenspeichers die Schwärzungskontraste in den einzelnen Gallenblasenabschnitten ändern, demonstrieren die Abbildungen 27 und 28. Von zwei kontrastgefüllten Gallenblasen wurden jeweils eine Übersichtsaufnahme (etwa 12 Stunden nach Biloptineinnahme angefertigt) und zwei Zielaufnahmen (15 und 30 Minuten

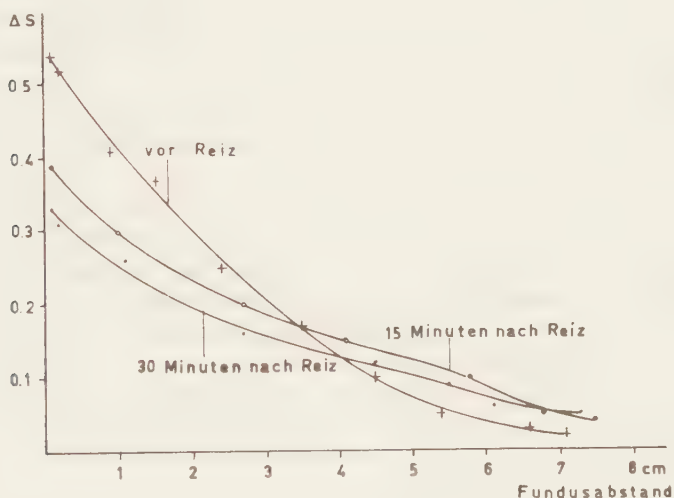


Abb. 27 Veränderung der Schwärzungskontraste bei einer peroralen Gallenblasendarstellung nach Gabe einer Reizmahlzeit. Die erste Aufnahme wurde 12 Stunden nach Biloptineinnahme angefertigt (Übersichtsaufnahme), 15 und 30 Minuten nach Reiz folgten Zielaufnahmen. Die Umgebungsschwärzung lag bei den drei Bildern zwischen $S = 0,60 - 1,15$, der Gallenblasenschatten lag vor Reiz zwischen $S = 0,50 - 0,60$, 15 Minuten nach Reiz zwischen $S = 0,55 - 0,75$ und 30 Minuten nach Reiz zwischen $S = 0,57 - 0,80$.

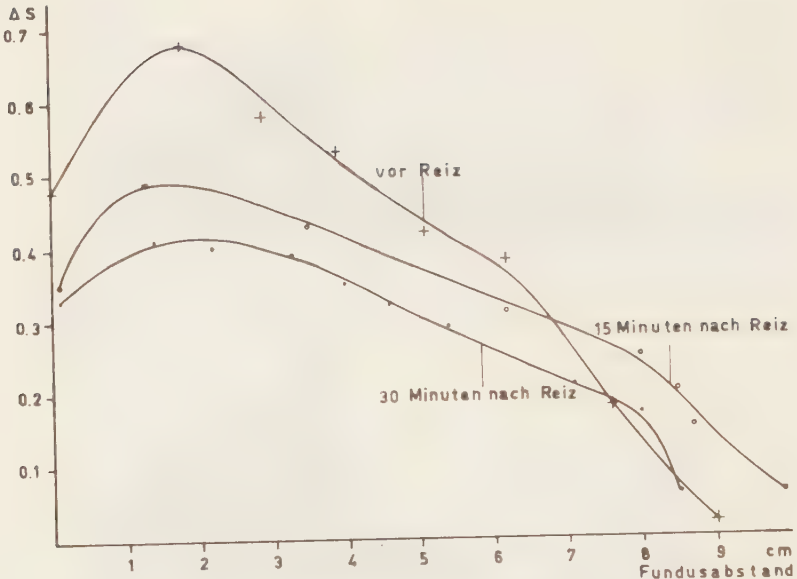


Abb. 28 Veränderung der Schwärzungskontraste bei einer peroralen Gallenblasendarstellung nach Gabe einer Reizmahlzeit. Die Umgebungsschwärzung lag bei den drei Bildern zwischen $S = 0,50 - 1,15$, der Gallenblasenschatten lag vor Reiz zwischen $S = 0,45 - 0,60$, 15 Minuten nach Reiz zwischen $S = 0,45 - 0,70$ und 30 Minuten nach Reiz zwischen $S = 0,50 - 0,75$.

ten nach Reiz) ausgewertet, wobei darauf geachtet wurde, daß die drei zusammengehörenden Photogramme in der Umgebungsschwärzung völlig übereinstimmten. Veränderungen der Schwärzungskontraste nach Reiz beruhen somit allein auf einer Ab- bzw. Zunahme von Kontrastgalle in den einzelnen Gallenblasenabschnitten. Der Einfluß der Filmschwärzungskurve, der bei unterschiedlicher Belichtung der Photogramme zum Tragen kommen würde, fällt weg. Da bei den Zielaufnahmen der Vergrößerungsfaktor höher ist als bei den Übersichtsaufnahmen, ist in unseren Abbildungen die Länge der sich kontrahierenden Gallenblase größer als die der maximal gefüllten.

In den unteren Gallenblasenteilen nimmt nach Reiz der Kontrast am stärksten ab. Mit zunehmendem Fundusabstand verkleinern sich die Kontrastdifferenzen. Im oberen Gallenblasendrittel schließlich findet man bei den Cholezystogrammen nach Reiz höhere Kontraste als bei denen vor Reiz.

III. Schwärzungskontraste normaler Cholangiogramme

A. Schwärzungen der Gallengangsschatten und deren Umgebung, Schwärzungskontraste und Detailgrößen

Es wurden zehn Cholangiogramme (30 Minuten p.i.) ausgewertet, wobei man durch den Hauptgallenweg und dessen große intrahepatische Verzweigungen jeweils sechs bis sieben Meßlinien legte. Die photometrischen Schnitte waren stets so ausgerichtet, daß sie senkrecht auf die Gallengänge trafen. Damit lassen sich aus den Densitometerkurven (siehe Abb. 29) nicht nur die Schwärzungen der interessierenden Bilddetails, sondern auch deren Größe, d.h. die Breite der Gallengangsschatten, ablesen. Letztgenannte Werte wurden durch direkte Messung am Röntgenbild nochmals überprüft.

Die Schwärzungskontraste der Gallengänge lagen bei $\Delta S = 0,01 - 0,16$; 82% aller ermittelten Werte waren im Bereich von $\Delta S = 0,015 - 0,07$ (siehe Abb. 30). Die Durchmesser der photometrierten Gallengangsschatten maßen 1,2 bis 7,5 mm. In der Umgebung der Gallengänge konnten Schwärzungen von $S = 0,35 - 1,15$ ermittelt werden, wobei im Bereich von $S = 0,41 - 0,90$ 86% aller Werte lagen. In den Gallengangsschatten waren die Schwärzungen bei $S = 0,34 - 1,09$. Die Hauptmasse der Werte (82%) befand sich zwischen $S = 0,34 - 0,70$; 57% aller Schwärzungen der Gallengangsschatten waren gleich oder kleiner als $S = 0,60$ (siehe Abb. 30).

B. Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße

Hundert Schwärzungskontraste, aus Photogrammen normaler Gallengänge gewonnen, wurden als Funktion der ihnen entsprechenden Gallengangsdurchmesser aufgetragen (siehe Abb. 31). Da ein photometrischer Schnitt durch einen Gallengang stets zwei Schwärzungskontrastwerte bringt, wurde das Mittel aus beiden verwen-

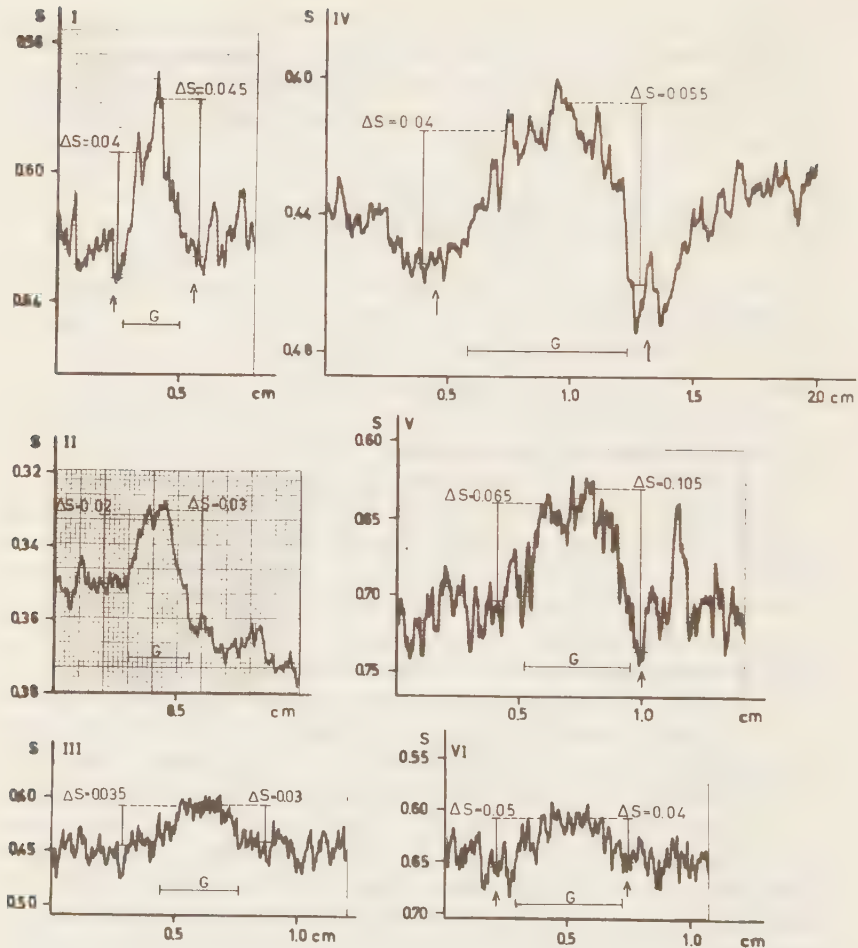


Abb. 29 Mikrophotometerkurven von Gallengängen.

Ausgewertet wurden Cholangiogramme, die 30 Minuten nach Bili-grafin forte - Injektion angefertigt wurden.

G = Gallengang; $\uparrow$ = Hinweis auf den Begleitschatten;

Bei Kurve I und II handelt es sich um eine Verzweigung 1. Ordnung des Ductus hepaticus dexter, bei III und V ist es der Ductus hepaticus dexter selbst, in IV ist es der Ductus hepaticus communis und in VI der Ductus choledochus.

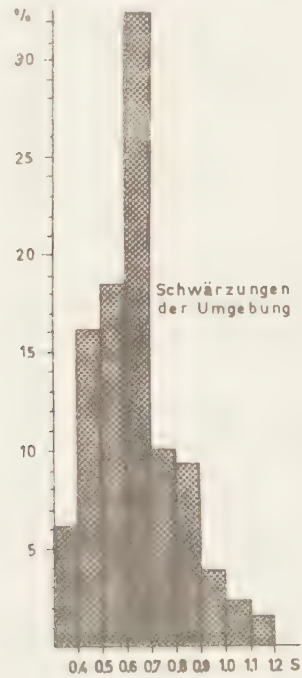
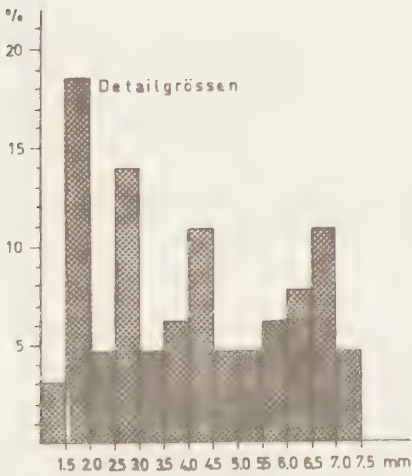
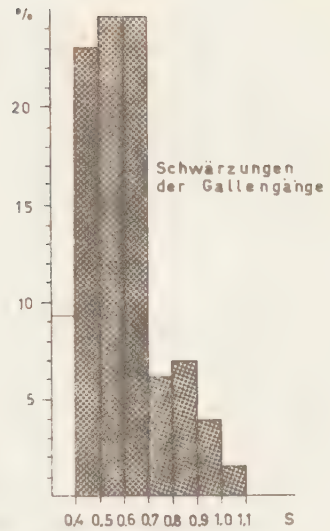
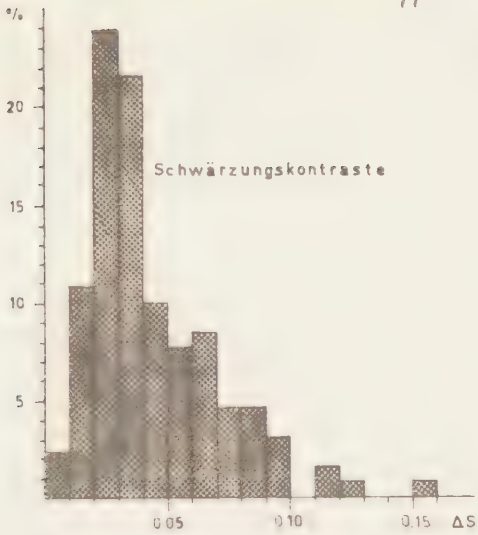


Abb. 30 Häufigkeitsverteilungsdiagramme der Schwärzungen von Gallengangsschatten und deren Umgebung, der Schwärzungskontraste und der Detailgrößen. Ausgewertet wurden zehn intravenöse Cholangiogramme (30 min. p.i.), auf denen nur Hauptgallengänge und deren große intrahepatische Verzweigungen dargestellt waren.

det.

Ausgewertet wurden neben den zehn Cholangiogrammen des vorhergehenden Abschnitts (diese 64 Werte sind im Punktwolkendiagramm als Kreise gekennzeichnet) drei Cholezysto-Cholangiogramme 60 min. p.i. und sieben 90 min. p.i., weiterhin ein Cholangiogramm eines cholezystektomierten Patienten (40 min. p.i.) und drei Zielaufnahmen (20 und 40 min. nach Reiz). Nur auf den drei letztgenannten Bildern war der Ductus cysticus dargestellt. Von ihm finden sich deshalb im Diagramm nur sieben Kontrastwerte, die als Kreuze eingezeichnet sind. Als Punkte wurden die Kontraste aus den übrigen Röntgenbildern angegeben. Bis zu einer Detailgröße von 2,5 mm liegen die Kontraste eng zusammen und steigen relativ gleichmäßig an. Gut läßt sich das an der unteren Begrenzungskurve der Abbildung 31 ablesen. Während die genannte Kurve bis zur Detailgröße von 2,5 mm ebenso wie die obere Begrenzung ansteigt (wenn auch nicht so stark wie die letztgenannte), biegt sie danach ab, um bei etwa 3,5 mm nahezu horizontal zu verlaufen. Da jedoch die obere Begrenzungskurve weiterhin steil ansteigt, kommt es bei den größeren Gallengangsdurchmessern zu einer weiten Streuung der Schwärzungskontraste.

IV. Unschärfen in normalen peroralen und intravenösen Cholezystogrammen und in intravenösen Cholangiogrammen

A. Bestimmung der Unschärfen

Gewöhnlich werden Untersuchungen über die Unschärfe eines Übertragungssystems an Abbildungen einer scharfen Kante durchgeführt. Die Unschärfe, die als Strecke angegeben wird, innerhalb derer der Intensitätsabfall erfolgt, wird in derartigen Röntgenaufnahmen nur technisch bedingt, d.h. durch geometrische Verhältnisse (Größe des Brennflecks, Fokus-Film- und

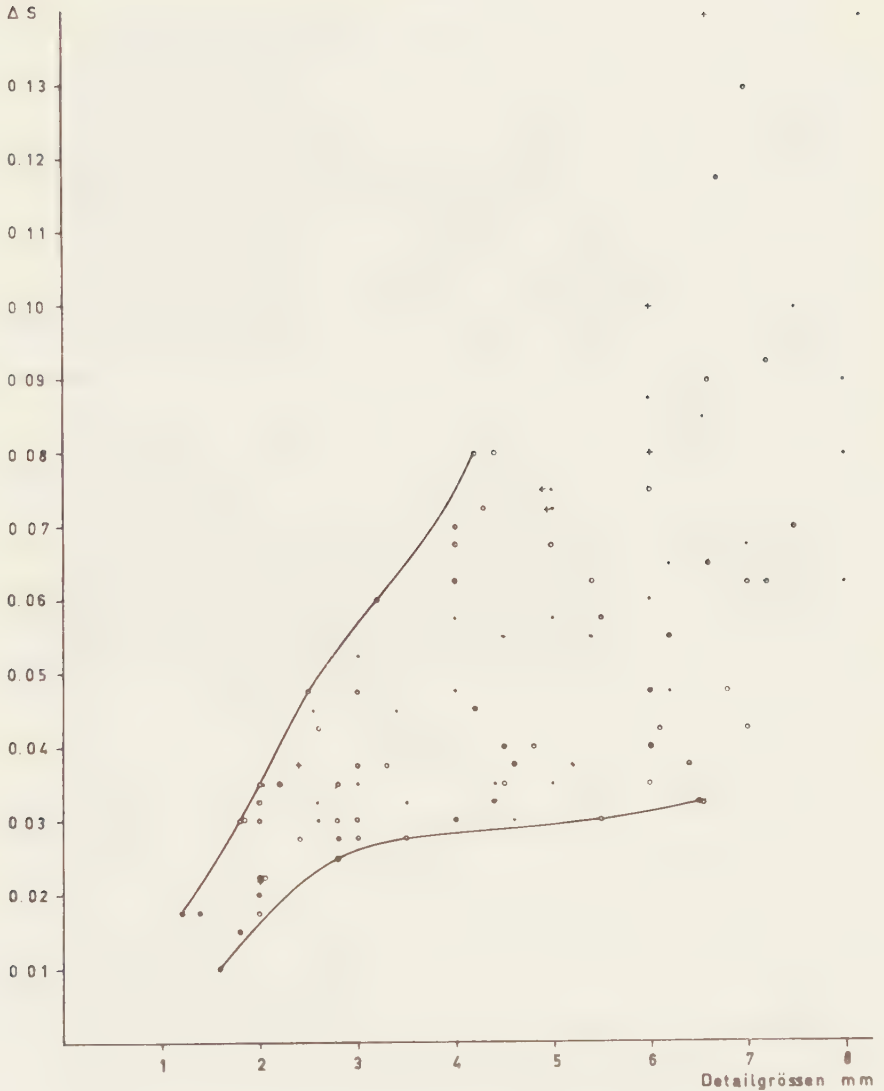


Abb. 31 Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße. Ausgewertet wurden 100 Photometerkurven normaler Gallengänge.

Objekt-Film-Abstand), durch photographische Faktoren (vor allem durch Verstärkerfolien), durch Objektbewegung und bei filmnahen Objekten durch Streustrahlen. In Röntgenaufnahmen von anatomischen Gebilden dagegen wird der allmähliche Übergang zwischen zwei benachbarten Dosiswerten bzw. Schwärzungsstufen nicht nur technisch, sondern auch durch die Form der Objekte bedingt. Diese haben gewöhnlich unscharfe Begrenzungen, sie werden gegen den Rand zu strahlendurchlässiger. Die "anatomische Unschärfe" ist Ausdruck einer getreuen Abbildung des Objektes und darf deshalb, wie Spiegler (113) betont, nicht unterdrückt werden. Negativ auf die Bildqualität wirken sich also nur die technischen Unschärfen aus; sie sollen in der vorliegenden Untersuchung möglichst allein erfaßt werden.

In den Photometerkurven, bei deren Anfertigung darauf geachtet wurde, daß der Weg des Meßstrahls senkrecht auf die Gallenwegsschatten traf, findet sich bis tief in das Schattenzentrum hinein ein steter Anstieg (was einer steten Schwärzungsabnahme entspricht), der zunehmenden Dicke der Kontrastgallenschicht entsprechend. Die durch die Technik bedingte Bildunschärfezone liegt hier also nicht zwischen zwei definierten Schwärzungsstufen, sondern zwischen der eindeutig zu bestimmenden Umgebungsschwärzung und einem schwach abfallenden Schwärzungsniveau im Gallenblasenschatten. Bei der Auswertung der Kurven wurde deshalb wie folgt vorgegangen. Durch den ersten, unmittelbar an die Umgebung grenzenden Anstieg der Photometerkurve wurde eine Gerade gelegt, deren Schnittpunkt mit der Umgebungsschwärzung den Anfang der Bildunschärfezone markiert. Dieser erste Anstieg biegt gewöhnlich in eine zweite, flachere Steigung um, die, wiederum nahezu geradlinig, dem höchsten Niveau der Photometerkurve zustrebt und von der man annehmen kann, daß sie nur durch die Form der Gallenwege bedingt wird. Wo die Gerade durch die zweite Steigung mit der der ersten schneidet, wurde die innere Grenze der Unschärfezone angenommen, in der wohl technische und "anatomische" Unschärfe zusammenspielen (siehe Abb. 10, 11 und 12). An Gallengangsschatten mit geringen Durchmessern konnte die beschriebene Methode nicht angewendet werden, da dort zuweilen ein steter Anstieg von der Umgebungsschwärzung bis zur größten Helligkeit zu verzeichnen war. In diesen Fällen wurde einfach der Bereich zwischen beiden Niveaus als Unschärfe ver-

wendet.

B. Meßergebnisse

Die ermittelten Unschärfen aus 11 peroralen und 23 intravenösen Gallenblasendarstellungen auf Übersichtsaufnahmen (27 cm x 21 cm) von insgesamt 24 Patienten, sowie aus 23 peroralen und 19 intravenösen Cholezystogrammen nach Reiz (Zielaufnahmen; 11 cm x 8 cm) von insgesamt 21 Patienten werden in zwei Häufigkeitsverteilungsdiagrammen wiedergegeben (Abb. 32). Aus den Übersichtsaufnahmen wurden 274 Werte entnommen, die zwischen 0,3 und 4,0 mm liegen; bei den Zielaufnahmen waren es 338 Werte im Bereich von 0,4 - 3,8 mm. In beiden Bildgruppen stimmt sowohl die Spanne, in der die Unschärfen liegen, wie auch ihre Verteilung weitgehend überein. Zwischen 0,9 und 2,4 mm liegen bei den Übersichtsaufnahmen etwa 78% der Werte, bei den Zielaufnahmen 75,5%; beide Male findet sich das Maximum bei 1,3 - 2,0 mm.

In 25 intravenösen Cholangiogrammen (nur Übersichtsaufnahmen) von 14 Patienten, worunter zwei keine Gallenblase mehr hatten, wurden 201 Unschärfen bestimmt, die zwischen 0,2 und 2,4 mm liegen (Abb. 32). 89% der Werte sind im Bereich von 0,3 - 1,4 mm; das Maximum liegt bei 0,3 - 0,6 mm.

V. Der Begleitschatten der Gallenwege

A. Literatur

Erstmals erwähnen Leupold und Heuck (74) einen doppelten Aufhellungsstreifen, der beiderseits die mit Biligrafin kontrastgefüllten Gallengänge begrenzt. Sie sprechen davon, daß sich der intrahepatisch gelegene Teil der Gallengangswand, die nicht mit Kontrastmittel angereichert ist, dort, wo er tangential von den Röntgenstrahlen getroffen wird, als doppelter Aufhellungsstreifen zwischen der im Lumen befindlichen Kontrastgalle und dem mit Kontrastmittel angereicherten Lebergewebe (hepatographischer Effekt des Biligrafins) abhebt. Dieser Erklärung gemäß dürften die Aufhellungsstreifen nur an den intrahepatischen Gallengängen sichtbar sein, nicht aber am Ductus hepaticus communis und Ductus choledochus, die sich zwar zum Teil

Unschärfen aus:

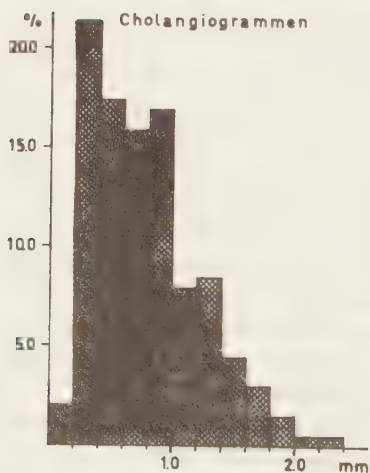
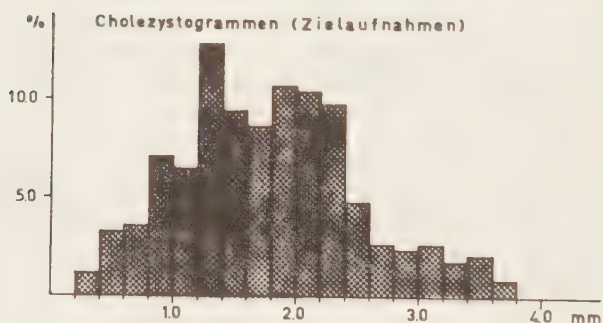
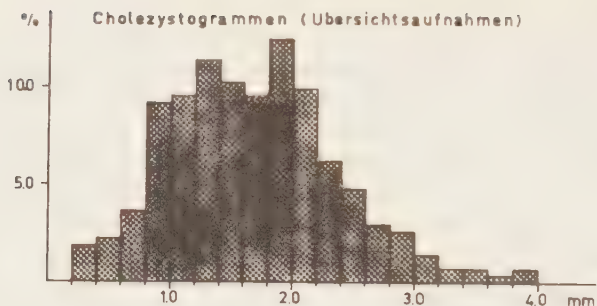


Abb. 32 Häufigkeitsverteilungsdigramme der Unschärfen aus Cholezystogrammen auf Übersichtsaufnahmen (34 Bilder) und Zielaufnahmen (42 Bilder) und aus 25 intravenösen Cholangiogrammen (nur Übersichtsaufnahmen).

in den Leberschatten projizieren, selbst aber extrahepatisch liegen. In dem der Arbeit von Leupold und Heuck beigegefügt Bild sind aber die Aufhellungsstreifen beiderseits des Choledochus besonders klar zu erkennen.

Auch Lörinc und Baumann (78) lehnen die eben hervorgebrachte Erklärung ab und halten die doppelten Begleitstreifen für eine optische Täuschung, die auf der Physiologie unseres Auges beruht. Jene Erscheinung, daß beim Aneinandergrenzen verschiedenen heller Graufelder eine dunkle Grenzlinie gesehen wird, hat Mach erstmals beschrieben. Wind (130, 125) beschäftigte sich mit diesem Phänomen im Röntgenbild. Er hat mit seinem Abdeckversuch bewiesen, daß derartige Streifen tatsächlich nicht im Bild vorhanden sind.

Lörinc und Baumann haben den Windschen Versuch an ihren intra-venösen cholangiographischen Aufnahmen durchgeführt und kamen zu der Überzeugung, daß es sich bei den die großen Gallengänge begleitenden Streifen um einen Mach-Effekt handelt. Aus diesem Grunde nannten sie den Begleitstreifen, um ihn von den in anderen Bildern tatsächlich vorhandenen Begleitschatten zu unterscheiden, "Choledochus-Pseudobegleitschatten", wobei sie betonen, daß sie unter Choledochus - der Kürze halber - die großen Gallengänge verstehen.

In 94% ihrer positiven Cholangiogramme beobachteten sie den "Choledochus-Pseudobegleitschatten" in mehr oder weniger ausgeprägter Form und zwar, als einen in den Originalaufnahmen dunklen Streifen, der bald dünner, bald dicker, auf eine kürzere oder längere Strecke, gewöhnlich beidseitig, die großen Gallengänge begrenzt. Weiterhin betonen Lörinc und Baumann die diagnostische Bedeutung dieser Streifen. Konnten sie doch, nachdem ihnen das Phänomen einmal aufgefallen war, bei der retrospektiven Nachprüfung von 35 "negativen Cholangiographie-Diagnosen" in 11 Fällen mit Sicherheit den Choledochus-Pseudobegleitschatten entdecken und damit nachweisen, daß eine trans-hepatische Kontrastmittelausscheidung vorhanden war, durch die sich die großen Gallengänge, wenn auch nur sehr schwach, gefüllt hatten.

Die genannten Autoren empfehlen deshalb in jenen Fällen, in denen sich die Gallengänge kaum darstellen, in erster Linie nach den doppelten Aufhellungsstreifen und erst in zweiter

Linie nach dem mit Kontrastmittel gefüllten Choledochus selbst zu finden.

Erwähnt werden die "doppelten Aufhellungsstreifen" weiterhin von Hornykiewytsch (60), der sich der Ansicht von Lörinc und Baumann anschließt, d.h. die genannte Erscheinung nicht etwa für eine Abbildung der Choledochuswand, sondern für eine optische Täuschung hält. Frommhold (43) schließlich weist ebenfalls auf die diagnostische Hilfe, die die Aufhellungsstreifen bieten können, hin, läßt aber die Frage offen, ob es sich um ein wirklich vorhandenes Bilddetail oder um einen Mäschchen Kontraststreifen handelt.

B. Mikrophotometrische Untersuchung des Gallenwegsbegleitschattens

Übereinstimmend mit der Häufigkeitsangabe und der Beschreibung der Begleitstreifen durch Lörinc und Baumann fand auch ich in 36 intravenösen Gallengangsdarstellungen, 33 primären und 3 sekundären (Zielaufnahmen nach Reiz), die an 14 Patienten angefertigt wurden, 34 mal, d.h. in 94,4% die Begleitschatten, mehr oder weniger ausgeprägt. Meist beidseitig angelegt und in ihrer Breite schwankend, konnten sie in wechselnder Ausdehnung entlang der Gallengänge beobachtet werden. Am Hauptgallenweg waren sie am augenscheinlichsten, bei genauerem Hinsehen konnte man sie jedoch auch an den großen intrahepatischen Verzweigungen erkennen.

Im Rahmen der Untersuchung über die Schwärzungskontraste in Cholangiogrammen (Abschnitt III) waren durch die Gallengangsschatten der genannten Aufnahmen photometrische Meßlinien gelegt worden, ohne Rücksicht darauf, ob an den betreffenden Stellen Begleitschatten zu sehen waren oder nicht. Bei der Auswertung der Kurven stellte sich heraus, daß alle Messungen, die an Gallengängen mit sichtbaren Begleitschatten ausgeführt worden waren, Mikrodensitometerkurven erbrachten, in denen die dunklen Streifen nachweisbar waren. Wie Abbildung 33 zeigt, konnten die Begleitschatten sowohl am Ductus hepaticus communis (III, IV, VI, VII) und Choledochus (V, VIII), wie auch an den großen intrahepatischen Gallengängen (II) und am Ductus cysticus (I) photometrisch erfaßt werden. Weitere photometrische Nachweise der Begleitschatten finden sich in Abb. 29.

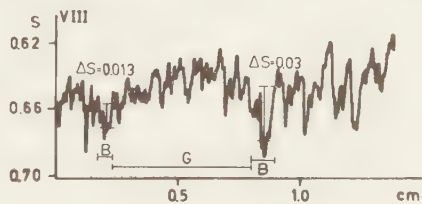
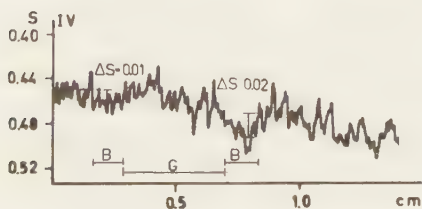
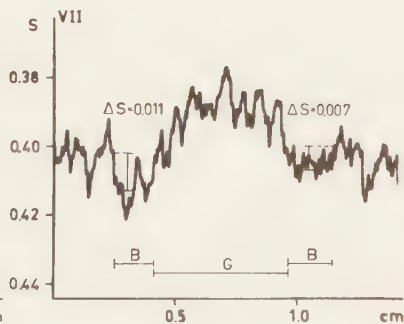
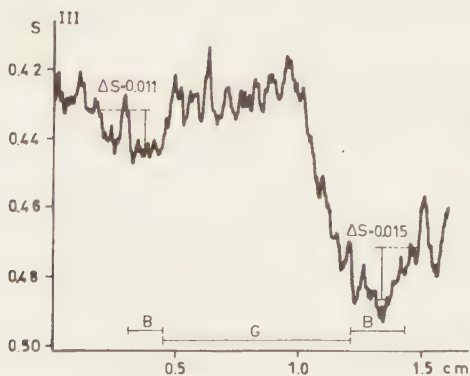
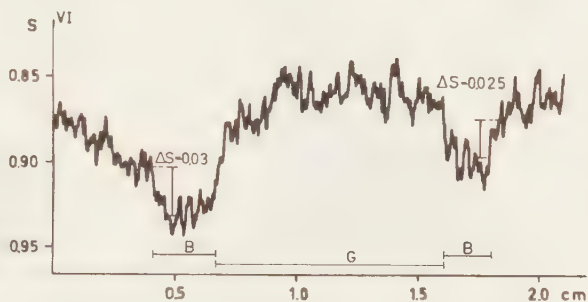
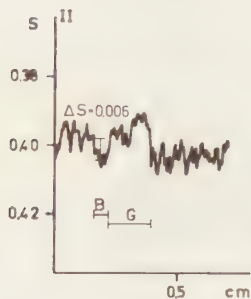
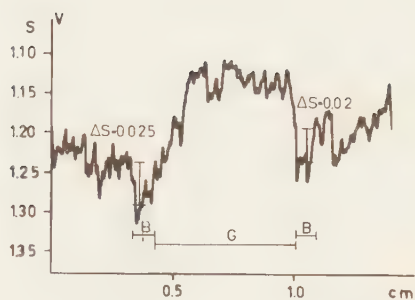
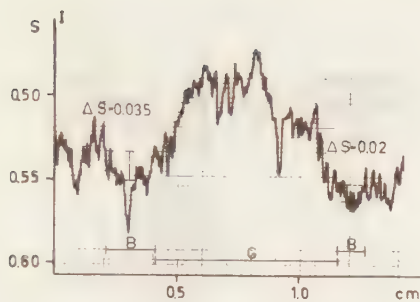


Abb. 33 Mikrophotometerkurven von Gallengangsschatten mit Begleitstreifen.

G = Gallengang; B = Begleitschatten;

I D. cysticus; II Verzweigung erster Ordnung des D. hep. sin.;

III, IV, VI, VII D. hep. com.; V, VIII D. choledochus;

Die Schwärzungskontrastangaben in den Kurven beziehen sich auf die Begleitschatten.

In 31 der 34 intravenösen Cholangiogramme mit sichtbaren Begleitschatten lagen die Meßlinien in den Gallengangsstücken, an denen Streifen auftraten. In diesen 31 Röntgenaufnahmen fanden sich 156 photometrische Schnitte durch die Begleitschatten. Die daraus ermittelten Schwärzungskontraste lagen bei $\Delta S = 0,005 - 0,04$ (Abb. 34). Rund 73% aller Werte befanden sich im Bereich von $\Delta S = 0,01 - 0,02$.

Für die Aufstellung des Häufigkeitsverteilungsdiagramms der Begleitschattenbreiten wurden nur die 28 Übersichtsaufnahmen herangezogen, die 148 Werte brachten. Die drei Zielaufnahmen nach Reizmahlzeit fanden hier wegen des veränderten Vergrößerungsfaktors keine Verwendung. Es wurden Detailgrößen von 0,4 - 2,4 mm beobachtet, wobei die Masse (rund 70%) zwischen 0,7 und 1,6 mm lag (Abb. 34).

Die Ergebnisse der mikrophotometrischen Untersuchung widersprechen der Ansicht von Löhrinc und Baumann, daß es sich bei den Begleitschatten lediglich um ein optisches Phänomen handelt, denn das Mikrodensitometer spricht selbstverständlich nur auf wirklich vorhandene Bilddetails an. Richtig dagegen ist ihre Beurteilung der Begleitstreifen für das Auffinden der Gallengangsschatten. Wie es in den Photometerkurven II, IV und VIII der Abbildung 33 zu sehen ist, vermag man schwach kontrastgefüllte Gallengänge vielfach nur durch den Begleitschatten von ihrer Umgebung abzugrenzen. Auch bei guter Kontrastmittelausscheidung werden die Schwärzungskontraste in Cholangiogrammen wesentlich verbessert, wenn ein Begleitschatten vorhanden ist, liegt doch die Masse der Schwärzungskontraste der Gallenwegsschatten bei $\Delta S = 0,03 - 0,06$, der Begleitschatten bei $\Delta S = 0,01 - 0,02$. Das Vorhandensein eines Begleitschattens kann somit eine Kontrastverbesserung von 20 - 50% bringen.

Wenn der Begleitschatten ein echtes Bilddetail einer Gallen-

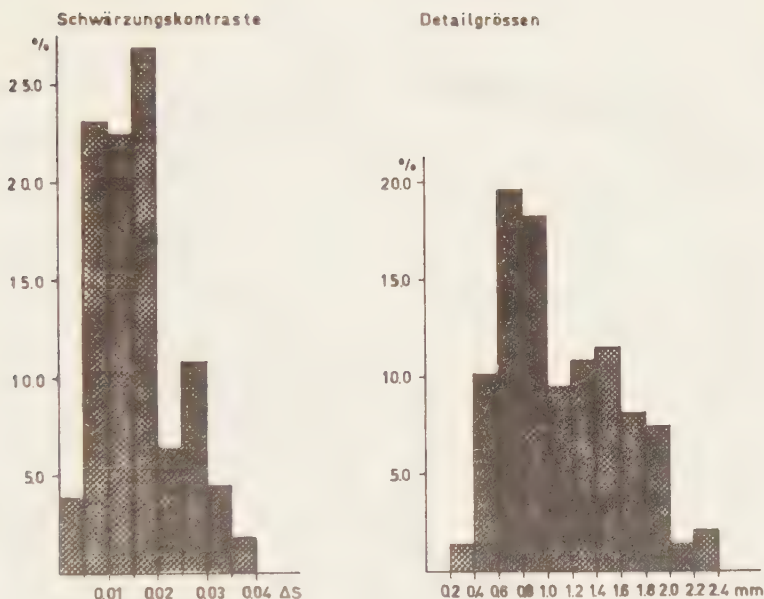


Abb. 34 Häufigkeitsverteilungsdiagramme der Schwärzungskontraste und Breiten der Begleitschatten der Gallengänge.

Für die Schwärzungskontraste wurden 31 i.v. Cholangiogramme (28 Übersichtsaufnahmen, 3 Zielaufnahmen) ausgewertet, bei den Detailgrößen nur 28 Übersichtsaufnahmen.

wegsdarstellung ist, so liegt die Vermutung nahe, daß sich hier die Gallengangswand, oder wenigstens einige Schichten von ihr, abbildet, d.h. Gewebeteile der Gallengänge unterscheiden sich während der Kontrastfüllung der Gallenwege in ihrer Strahlenabsorptionsfähigkeit vom umliegenden Gewebe. Damit taucht die Frage auf, ob das auch für die Gallenblase zutrifft, ob auch im Cholezystogramm am Rande des Gallenblasenschattens ein dunkler Streifen vorhanden ist.

Es wurden daraufhin 78 pathologisch nicht veränderte Cholezystogramme (44 intravenöse, 34 perorale) nach einem Begleitschatten durchforscht, und es konnten in 74 Aufnahmen, d.h. in rund 95% am Gallenblasenumfang dunkle Säume in wechselnder Ausdehnung be-

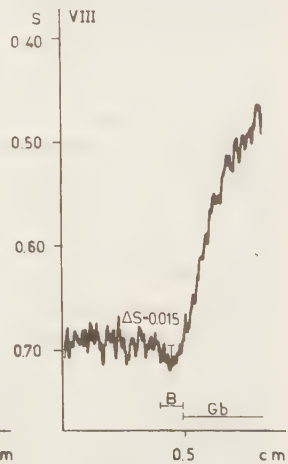
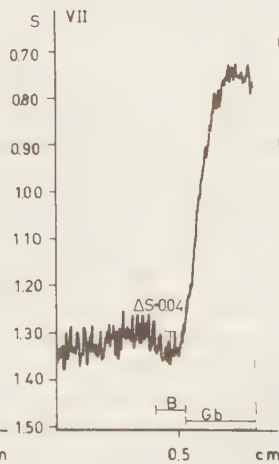
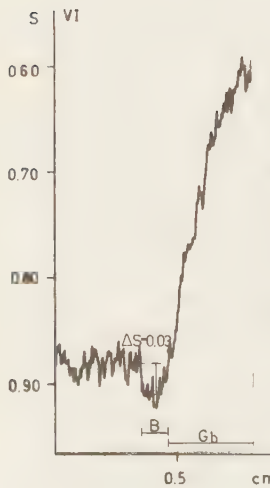
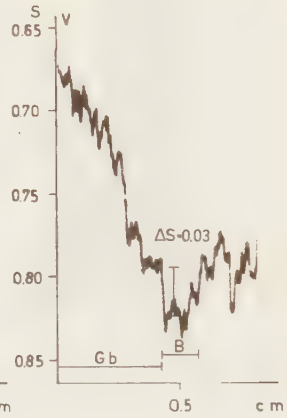
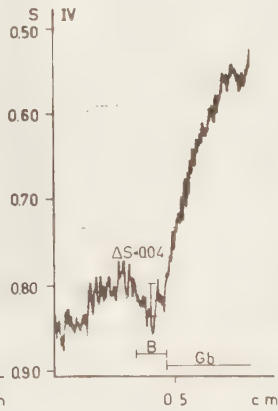
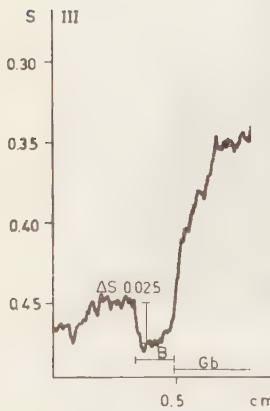
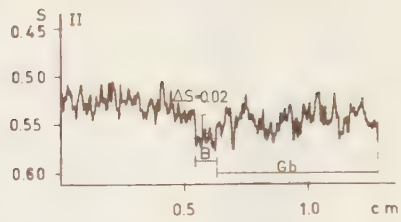
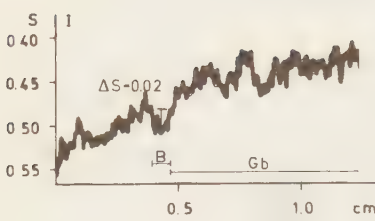


Abb. 35 Mikrophotometerkurven von Gallenblasenschatten mit Begleitstreifen

Gb = Gallenblase; B = Begleitschatten;

I - V perorale Cholezystogramme; VI - VIII intravenöse Cholezystogramme.

obachtet werden. Allerdings fiel dieser Begleitschatten weit weniger ins Auge, als der an den Gallengängen. Das ist jedoch nicht weiter verwunderlich, wenn man sich darüber im klaren ist, daß die Leuchtdichteunterschiedsschwelle zwischen zwei Feldern durch die Umgebung beider Felder beeinflußt wird (Schober (104)). Während bei den Gallengängen um den Begleitschatten keine großen Schwärzungsdifferenzen auftreten, das Umfeld also etwa die gleiche Leuchtdichte aufweist wie der Bereich, in dem die interessierenden Details liegen, und somit eine maximale Unterschiedsempfindlichkeit erreicht wird, grenzt bei der Gallenblase der Begleitstreifen an den sehr hellen Gallenblasenschatten. Das Umfeld ist also hier wesentlich heller, und es tritt Blendung ein, was die Unterschiedsempfindlichkeit verringert (104).

Von den 74 Cholezystogrammen, in denen ein Begleitschatten gesehen wurde, war in 73 dieser auch photometrisch nachweisbar. Beispiele hierfür bringt Abbildung 35; weitere Hinweise finden sich in Abbildung 10, 11, 12 und 13.

Insgesamt konnten 245 photometrische Schnitte durch den Begleitschatten der Gallenblase gelegt werden. Die daraus ermittelten Schwärzungskontraste lagen bei $\Delta S = 0,01 - 0,055$ (Abb. 36). Im Verhältnis zu den Begleitschatten an den Gallengängen waren hier die Schwärzungskontraste ein wenig größer.

Die in den 36 Übersichts- und 37 Zielaufnahmen gefundenen Begleitschattenbreiten lagen zwischen 0,4 und 2,0 mm (Abb. 36). In den Zielaufnahmen beobachtete man erwartungsgemäß im Mittel etwas breitere Begleitschatten als in den Übersichtsaufnahmen; so war in den letztgenannten die Durchschnittsbreite 0,82 mm, in den Zielaufnahmen 0,92 mm. Das entspricht in etwa dem Übergang des Vergrößerungsfaktors von 1,1 auf 1,3.

Die vorliegenden photometrischen Untersuchungen sprechen dafür, daß es sich bei den doppelten Aufhellungstreifen um ein echtes

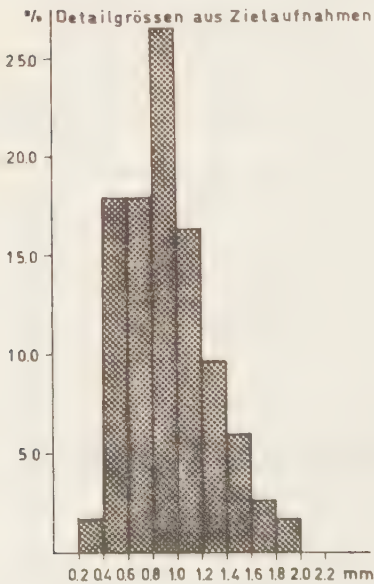
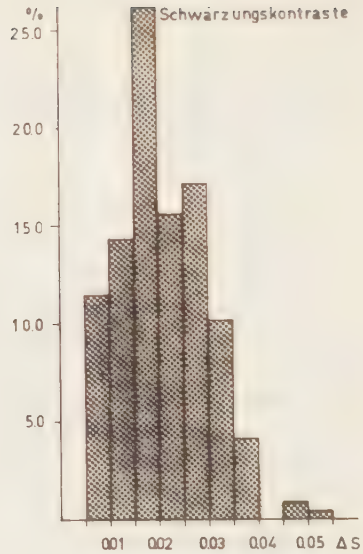
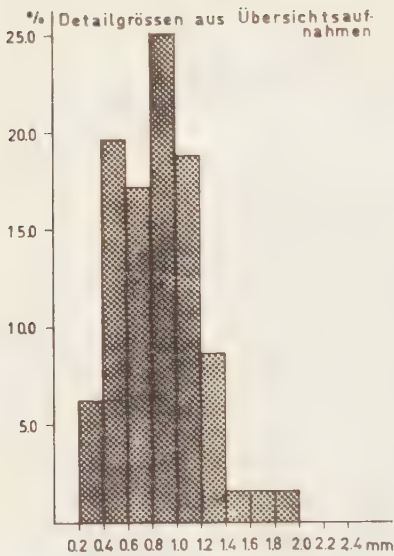


Abb. 36 Häufigkeitsverteilungsdiagramme der Schwarzungskontraste und Breiten der Gallenblasenbegleitschatten.

Es wurden 36 Übersichts- und 37 Zielaufnahmen von peroral und intravenös kontrastgefüllten Gallenblasen ausgewertet.

Bilddetail handelt, das sowohl an den Haupt-, wie auch an den akzessorischen Gallenwegen zu finden ist. Es wird deshalb für diese Erscheinung der Name "Gallenwegsbegleitschatten" vorgeschlagen.

VI. Diskussion und Ergebnisse

A. Schwärzungskontrastverhalten im einzelnen Cholezystogramm

Wie in Kapitel II des 2. Teiles der vorliegenden Arbeit gezeigt, nehmen die Schwärzungskontraste sowohl in den peroralen, wie auch in den intravenösen Cholezystogrammen vom unteren Drittel des Gallenblasenschattens zum Kollum hin ab. Die Birnenform des Gallenspeichers (siehe Seite 15) und die daraus resultierende Verringerung der strahlenabsorbierenden Kontrastgallenmenge gegen den Gallenblasenhals hin bietet sich sogleich als Erklärung dafür an. Wäre das jedoch die einzige Ursache, so müßte man erwarten, daß sich die Schwärzung des Gallenblasenschattens nach oben hin mehr und mehr vergrößert. Das ist, wie Abb. 16 und 17 beweisen, nicht der Fall. Durch die Projektion der oberen Gallenblasenabschnitte in den Leberschatten wird deren Schwärzung nicht größer, sie bleibt gleich oder verringert sich sogar. Damit gleitet der Strahlenkontrast der oberen Gallenblasenteile in einen ungünstigeren Abschnitt der Filmschwärzungskurve ab. Geht man von der im ausgewerteten Bildmaterial gefundenen mittleren Umgebungsschwärzung des Gallenblasenfundus von $S = 1,2$ aus, so bedeutet der mittlere Schwärzungsabfall der Umgebung von 0,55 (siehe Seite 58), daß ein Strahlenkontrast, der am Fundus als $\Delta S = 0,4$ umgesetzt würde, am Kollum nur noch einen Schwärzungskontrast von $\Delta S = 0,17$ erzeugt. Allein durch Belichtungsunterschiede sinkt demnach der Schwärzungskontrast eines Cholezystogramms von unten nach oben durchschnittlich um etwa 55%

Schaltet man, wie in Abbildung 21 und 22 geschehen, den Einfluß der Gradationskurve auf die Schwärzungskontraste innerhalb eines Cholezystogramms aus, indem man sämtliche Schwärzungsdifferenzen auf eine konstante Umgebungsschwärzung umrechnet, so bemerkt man einen auffallenden Unterschied zwischen den intravenösen und peroralen Cholezystogrammen.

Während bei den peroral dargestellten Bildern ein starker Schwärzungskontrastabfall nachweisbar bleibt, ist dieser bei den intravenösen jetzt weit geringer. In die gleiche Richtung dürften Befunde der Abbildungen 14 und 15 weisen. Dort fällt nämlich auf, daß in den peroralen Cholezystogrammen die Schwärzungsdifferenzen häufiger in den niedrigen Kontrastbereich unter $\Delta S = 0,10$ absinken, als bei den intravenösen. Ein Blick auf die Verteilungsdiagramme der Abb. 25 bestätigt die Beobachtung; sind doch kleinste Kontraste unter $\Delta S = 0,05$, die gewöhnlich nur am Gallenblasenhals vorkommen, in den peroralen Cholezystogrammen gut fünf mal so häufig anzutreffen, wie in den intravenösen. Die beschriebenen Beobachtungen dürften auf Unterschieden im Mechanismus beider Kontrastdarstellungen beruhen.

In der intravenösen Cholezystographie ist die Zeitspanne vom ersten Einfließen der Kontrastgalle in ihren Speicher bis zur Anfertigung der Röntgenaufnahmen relativ kurz, so daß keine bedeutenden Jodkonzentrationsdifferenzen innerhalb des Gallenspeichers durch die Resorptionstätigkeit der Gallenblasenmukosa auftreten können. Außerdem bleibt im genannten Zeitraum die Kontrastmittelkonzentration der Lebergalle weitgehend konstant (siehe S. 43), d.h. es fließt auch noch kurz vor der Röntgenuntersuchung stark jodhaltige Galle in die Gallenblase ein. Bei der peroralen Methode, wie sie hier durchgeführt wurde, sind die Verhältnisse anders. Kontrastgallenportionen in den unteren Gallenblasenabschnitten sind 10 Stunden und mehr der Konzentriertätigkeit der Schleimhaut ausgesetzt; die Lebergalle dagegen, die kurz vor Anfertigung der Röntgenaufnahmen in den Gallenblasenhals einfließt, hat nur noch einen geringen Jodgehalt (reicht nicht mehr aus, um die Gallengänge sichtbar zu machen). Es resultiert daraus ein starker Kontrastmittelkonzentrationsabfall in den oberen Gallenblasenabschnitten. Zusammenfassend läßt sich folgendes feststellen: der Schwärzungskontraststurz in den oberen Gallenblasenabschnitten beruht im wesentlichen bei den intravenösen Cholezystogrammen 1. auf der Form des Gallenspeichers und 2. auf dem Einfluß der Filmschwärzungskurve; bei den peroralen Gallenblasendarstellungen gesellt sich zu diesen beiden Punkten 3. die in den oberen Gallenblasenabschnitten sich verringernde Kontrastmittelkonzentration.

Das letztgenannte Moment sollte bei der Entscheidung, welche Methode der Gallenblasendarstellung von Fall zu Fall anzuwenden ist, berücksichtigt werden, bedeutet es doch, daß in den peroralen Cholezystogrammen die oberen Gallenblasenabschnitte schlechter dargestellt sind als in den intravenösen. Häufig interessiert besonders der genannte Bereich des Hohlorgans den Arzt, da dort Verwachsungen und kleine Steine schwere Beschwerden auslösen können. Bei wiederkehrenden Gallenkoliken, die den Verdacht auf einen rezidivierenden, temporären Verschuß des Gallenblasenausganges nahelegen, sollte daher der intravenösen Cholezystographie der Vorzug gegeben werden, da man gerade bei den Patienten mit dem genannten Symptom nur ungern jene diagnostische Hilfe anwendet, die, wie unten gezeigt wird, den Mangel des peroralen Vorgehens beseitigen kann, die Reizmahlzeit.

B. Einfluß der Reizmahlzeit auf die Schwärzungs kontraste in peroralen Cholezystogrammen

In den Verteilungsdiagrammen der Abbildung 26 fällt zunächst ins Auge, daß das Spektrum der Schwärzungs kontraste nach der Gallenblasenkontraktion von oben her eingeengt wird, und die Häufigkeit der kleineren Kontraste zunimmt. Das beruht auf der allseitigen Größenabnahme von Fundus und Korpus ("tonic contraction" S. 31). Sie führt zu einer Verkleinerung des sagittalen Gallenblasendurchmessers und damit zu einer Verringerung der Höhe der strahlenabsorbierenden Kontrastgallenschicht, wodurch die größten Schwärzungs kontraste verschwinden.

Wichtiger für die Praxis ist die Erkenntnis, die aus den Abbildungen 27 und 28 gewonnen werden kann. Auch hier sieht man zunächst, daß die größten Schwärzungs kontraste des unteren Gallenblasendrittels nach Reiz stark reduziert sind. Weiter fällt auf, daß im mittleren Drittel die Schwärzungs kontraste nach der Gallenblasenkontraktion nur noch wenig abnehmen und in den oberen Gallenblasenabschnitten schließlich sogar gesteigert sind, und zwar sind sie durchschnittlich doppelt so groß wie vor Reiz. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit Vorstellungen der Physiologen über die Gallenblasenentleerung (S. 31). Ihnen gemäß wird das Kollum nicht in die allgemeine Verkleinerung einbezogen. Es wird vielmehr von der nach oben gepreßten Galle zunächst gebläht, worauf es dann durch Tonussteigerungen, die

in wenigen Sekunden ablaufen ("tonus rhythm" S. 31), kleine Gallenportionen auswirft. In die oberen Teile der Gallenblase, deren Lumenweite also annähernd gleich bleibt, gelangt nach Reiz hochkonzentrierte Kontrastgalle der unteren Abschnitte. Damit ist der oben angedeutete Nachteil der peroralen Cholezystographie beseitigt. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß man eine Reizmahlzeit gibt, und der Gallenspeicher noch in der Lage ist, auf diese zu reagieren.

C. Vergleich der Schwärzungskontraste in peroralen und intravenösen Cholezystogrammen

Abbildung 25 zeigt, daß in beiden Cholezystogrammarten, die unter Standardbedingungen aufgenommen wurden, das Schwärzungskontrastspektrum weitgehend übereinstimmt. In den peroralen Gallenblasendarstellungen sind aber die Werte gleichmäßiger über den gesamten Kontrastbereich verteilt. Dafür dürften wiederum die großen Kontrastmittelkonzentrationsdifferenzen innerhalb einer Gallenblasenfüllung verantwortlich sein. Sie machen es möglich, daß größte und kleinste Schwärzungskontraste an einem Gallenblasenschatten nahezu gleich häufig zu beobachten sind. In den intravenösen Cholezystogrammen dagegen ist eine deutliche Anhäufung der Werte zwischen $\Delta S = 0,05 - 0,40$ zu verzeichnen. Grundsätzlich läßt sich feststellen, daß sämtliche gefundenen Schwärzungskontraste in einem sehpysiologisch günstigen Bereich liegen.

D. Einfluß der Belichtung auf die Schwärzungskontraste in Cholezysto- und Cholangiogrammen

Schon die Abbildungen 14 und 15 bieten einen Hinweis darauf, daß der Kontrastreichtum einer Gallenblasendarstellung von der Belichtung abhängt, denn es finden sich die größten Schwärzungskontraste durchweg an jenen Gallenblasenschatten, die in den tiefsten Umgebungsschwärzungen liegen. Die Belichtungsunterschiede in den genannten Aufnahmen, die alle mit der gleichen Geräteeinstellung angefertigt wurden, kamen dadurch zustande, daß das Meßfeld der Belichtungsautomatik von Fall zu Fall mit mehr oder weniger stark absorbierenden Objekten ausgefüllt war, die Lage der Gallenblase innerhalb des Organismus und der Durch-

messer der Patienten variierte.

Einen klareren Eindruck davon, wie sich Belichtungsunterschiede auf eine Gallenblasendarstellung auswirken, gewinnt man aus den Abbildungen 23 und 24. Vergleicht man die Kontrastbereiche der Cholezystogramme a und c der Abbildung 23, so wird deutlich, wie stark sich die photographische Wiedergabe ein und derselben Gallenblase unter verschiedenen Belichtungsbedingungen ändern kann. Diese wurden hier zwar durch unterschiedliche Einstellung der Belichtungsautomatik variiert, in anderen Cholezystogrammen konnten jedoch die gleich differenten Schwärzungsbereiche, in denen die Gallenblasenschatten lagen, auch bei der sog. Standardeinstellung beobachtet werden. Das bedeutet, daß unter den hier angewandten Aufnahmebedingungen gleich gut kontrastgefüllte Gallenblasen zum Teil flau, zum Teil kontrastreich dargestellt werden können.

Aus Abbildung 24 läßt sich entnehmen, wo in etwa die obere Grenze der optimalen Schwärzungen eines Cholezystogramms zu suchen ist. Geht man vom Röntgenbild c aus, in dem der Gallenblasenschatten Schwärzungen von $S = 0,60 - 1,00$ aufweist, so läßt sich durch eine Verlängerung der Belichtung (Gallenblasenschattenschwärzungen zwischen $S = 0,8 - 1,3$; b) noch eine deutliche Verbesserung der Kontraste erreichen. Eine weitere Schwärzungsvertiefung (Schwärzungen in der Gallenblase bei $S = 0,90 - 1,70$ a) dagegen bringt praktisch keinen Schwärzungskontrastgewinn mehr.

Die Schwärzungen im Gallenblasenschatten sollten also nie unter $S = 0,6$ absinken (Abb. 23); seine optimale Wiedergabe dürfte, gemäß Abbildung 24, dann erreicht sein, wenn in ihm keine Schwärzungen unter $S = 0,8$ vorkommen. Eine weitere Belichtungssteigerung ist unnötig.

Hier mag der Einwand gebracht werden, daß durch die geforderte Strahlendosis in Bildteilen außerhalb des Gallenblasenschattens Schwärzungen von $S = 1,5$ und darüber auftreten können, von denen vielfach behauptet wird, daß sie nicht mehr verwendbar seien. Spiegler (114) lehnt diese Ansicht energisch ab und betont, daß es nicht die Schwärzungen über $S = 1,5$, sondern die Schwärzungsdifferenzen größer als $\Delta S = 1,5$ sind, die sich als unergiebig erweisen. Es besteht keine Gefahr, daß durch die verlängerte Belichtung die Schwärzungskontraste am Gallenblasen-

schatten in diesen, für das Auge ungünstigen Kontrastbereich gelangen.

Eine weitere Überlegung soll die Forderung nach einer ausreichenden Schwärzung des Gallenblasenschattens noch unterstreichen. In ihm liegen die wichtigsten Bilddetails pathologischer Cholezystogramme, nämlich Steinaussparungen. Wenn die Gallenblasenschattenschwärzungen unter $S = 0,6$ sinken, so fällt der Strahlenkontrast der genannten Details in den unteren Durchhang der Gradationskurve (Abb. 19), und es kann zu jener Erscheinung kommen, die Stieve (116) und andere schon beschrieben haben: Steinschatten werden durch den tiefen Gallenblasenschatten überdeckt.

Das Verteilungsdiagramm der Schwärzungen im Gallenblasenschatten (Abb. 20) beweist, daß die gewählten Standardaufnahmebedingungen den oben genannten Forderungen häufig nicht entsprechen, liegen doch 58% der ermittelten Schwärzungen unter $S = 0,6$. Es wird deshalb empfohlen, auf die verlängerte Einstellung der Belichtungsautomatik, die eine mittlere Schwärzung von etwa $S = 1,0$ ergibt (+ Taste; S. 70), überzugehen.

Das gleiche gilt für Cholangiogramme. Vertieft man in ihnen die durchschnittliche Schwärzung des Gallengangsschattens von $S = 0,6$ (Abb. 30) um $0,2$, so vergrößert sich ihr mittlerer Schwärzungskontrast $\Delta S = 0,045$ auf $\Delta S = 0,063$, d.h. er wird durchschnittlich um 40% angehoben.

Im Zusammenhang mit dem Einfluß der Belichtung auf die Schwärzungskontraste in Cholezystogrammen sei noch kurz der "flaue Gallenblasenschatten" besprochen. In der Praxis wird daraus häufig ohne weiteres eine Funktionsstörung der Gallenblasenschleimhaut abgeleitet. Schon aus dem theoretischen ersten Teil der vorliegenden Arbeit geht hervor, wie voreilig dieser Schluß ist, können doch eine Fülle von Störungen in der Funktionskette der Kontrastmittelfüllung der Gallenwege dafür verantwortlich sein. Hier soll noch auf ein aufnahmetechnisches Moment hingewiesen werden.

Die in Abbildung 14 und 15 wiedergegebenen Gallenblasen VI weisen nur geringe Kontraste auf. Bei direkter Betrachtung würde man sie als flau bezeichnen. Werden die Schwärzungskontraste dieser Cholezystogramme auf die Umgebungsschwärzung $S = 1,0$ umgerechnet (Abb. 21 und 22), so stimmen die Kontraste weitgehend

mit denen der gut dargestellten Gallenblasen überein. Der "flaue Gallenblasenschatten" ist in den genannten Beispielen durch Unterbelichtung bildwichtiger Details verursacht, denn die besprochenen Gallenblasen projizieren sich ungewöhnlich weit nach oben in den tiefsten Leberschatten. Bei der einfachen Betrachtung der Röntgenbilder fiel es nicht auf, daß der Gallenblasenschatten unterbelichtet war. Das entspricht der Erfahrung, daß unser Auge kaum in der Lage ist, Schwärzungen absolut zu beurteilen. Es vermag sich vielmehr auf sehr unterschiedliche Beleuchtungsniveaus einzustellen, und da diese Nachstellung automatisch erfolgt, merken wir, wie Stieve (117) aufschlußreich zeigte, wenig von Leuchtdichteunterschieden.

Bei einem flauen Gallenblasenschatten sollte man sich deshalb stets durch Vergleich mit einer Standardaufnahme bekannter Schwärzung davon überzeugen, ob nicht technische Unzulänglichkeiten den pathologischen Befund erzeugten.

E. Bildunschärfen

Die Unschärfen aus Cholezystogrammen auf Übersichts- und Zielaufnahmen (Abb. 32) stimmen weitgehend überein. Die in den letztgenannten Bildern auftretende Vergrößerung der geometrischen Unschärfe von 0,25 mm auf etwa 0,7 mm hat auf die Gesamtunschärfe also praktisch keinen Einfluß.

Wäre die durchschnittliche Gesamtunschärfe in den Übersichts- (1,7 mm) und Zielaufnahmen (1,8 mm) nur technisch bedingt, also ein Resultat der geometrischen u_g , Folien- u_f und Bewegungsunschärfe u_b (eine Streustrahlenunschärfe kommt wegen des relativ großen Objekt-Film-Abstandes nicht in Frage), so ginge aus der Formel:

$$U = \sqrt[3]{u_g^3 + u_f^3 + u_b^3} \quad (70)$$

U = Gesamtunschärfe; u_g = 0,25 mm bzw. 0,60 - 0,80 mm

u_f = 0,4 - 0,5 mm

hervor, daß die Bewegungsunschärfe u_b = 1,68 - 1,75 mm sein müßte. In den Cholangiogrammen, die unter identischen Bedingungen angefertigt wurden, fanden sich aber nun weit kleinere Unschärfen (Abb. 32); der Mittelwert betrug 0,84 mm. Nach obiger

Formel ergibt sich jetzt eine Bewegungsunschärfe von $u_b = 0,77$ mm. Die große Diskrepanz zwischen beiden Ergebnissen läßt zwei Erklärungsmöglichkeiten zu: 1. die Bewegungsunschärfe des Gallenblasenschattens ist wirklich größer als die der Gallengänge, d.h. Bewegungen des Herzens und der Gefäße - denn nur sie dürften, ähnlich wie in der Lunge, hier in Frage kommen - teilen sich dem Gallenspeicher stärker mit, als den Gallengängen; 2. in den Unschärfen der Cholezystogramme steckt, trotz der Bemühungen bei der Kurvenauswertung, noch ein größerer Anteil "anatomischer Unschärfe", was bei den Unterschieden in der Form von Gallenblase und -gängen durchaus verständlich wäre. Zwar scheint mir die letztgenannte Deutung einleuchtender, eine Entscheidung kann jedoch an Hand der hier durchgeführten Untersuchungen nicht getroffen werden.

F. Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße

Der Zusammenhang zwischen Detailgröße und Schwärzungskontrast wird gewöhnlich an Sinusrastern, in denen die Rasteramplitude konstant ist, und nur die Feinheit der Linien, die sog. Ortsfrequenz, gesteigert wird, ermittelt und in Form der Modulationsübertragungsfunktion sogar mathematisch formuliert. Die im Punktwolkendiagramm der Abbildung 31 wiedergegebene Untersuchung unterscheidet sich von den obengenannten 1. dadurch, daß mit kleiner werdender Detailgröße auch die Schichtdicke abnimmt - handelt es sich doch bei den Gallengängen um nahezu zylindrische Gebilde - d.h. hier wird nicht nur die Ortsfrequenz, sondern auch die Rasteramplitude verändert; 2. dadurch, daß Störfaktoren, wie die unterschiedliche Kontrastfüllung der Gallengänge und Beziehungen des Schwärzungskontrastes zur Gradationskurve mit hereinspielen. Der Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der Gallengangsschatten und ihrer Schwärzungskontraste läßt sich aber wenigstens größenordnungsmäßig beantworten. Bis zur Detailgröße 2,5 - 2,8 mm liegen die Punkte eng zusammen und steigen gleichmäßig an. Es läßt sich also in diesem Bereich eine deutliche Abhängigkeit zwischen Detailgröße und Schwärzungskontrast nachweisen. Danach streuen die Werte weit, die genannten "Störfaktoren" werden bestimmend.

G. Der Gallenwegsbegleitschatten

Eine ausführliche Auseinandersetzung mit der Literatur, in der dieses Phänomen beschrieben wird, findet sich bereits in Kapitel V. Nach den photometrischen Befunden muß es sich um ein echtes Bilddetail handeln, das wohl dadurch entsteht, daß eine schmale, die Kontrastgalle in den Gallenwegen umgebende Gewebeschicht strahlendurchlässiger ist, als das nach außen anschließende Gewebe. Die Dicke der genannten Schicht läßt sich aus den mittleren Detailgrößen, die in Cholezysto- und Cholangiogrammen gefunden wurden, abschätzen. Legt man einen Vergrößerungsfaktor von 1,1 bzw. 1,3 zugrunde, so ergibt sich an den Gallenblasen eine etwa 0,75 mm dicke Schicht, an den Gallengängen ist sie ungefähr 1,0 mm stark.

VII. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollte die Güte der Aufzeichnung von kontrastgefüllten Gallenwegen in Röntgenaufnahmen untersucht werden.

Der Mechanismus der Kontrastdarstellung jenes Gangsystems und zu seinem Verständnis wichtige Voraussetzungen, nämlich Anatomie und Physiologie, werden im ersten Teil kurz dargestellt. Um objektive Angaben über die Bildqualität von Cholezysto- und Cholangiogrammen, d.h. über Schwärzungen, Schwärzungskontraste, Detailgrößen und Detailunschärfen machen zu können, wurden etwa 90 derartige Photogramme mikrophotometrisch ausgewertet.

Die Schwärzungskontraste fallen im oberen Gallenblasendrittel stark ab, was bei den intravenösen Cholezystogrammen 1. auf der Form des Gallenspeichers und 2. auf dem Einfluß der Filmschwärzungskurve beruht; bei den peroralen Gallenblasendarstellungen gesellt sich dazu 3. die in den oberen Gallenblasenabschnitten sich verringernde Kontrastmittelkonzentration. Das letztgenannte Faktum schränkt den diagnostischen Wert der peroralen Cholezystographie gegenüber dem der intravenösen erheblich ein; das gilt besonders, wenn die Gallenblase nicht mehr in der Lage ist, sich auf Reiz zu kontrahieren.

Der Einfluß der Gradationskurve macht es notwendig, daß die Schwärzung im Schatten der Gallenblase und Gallengänge nicht unter $S = 0,6$ absinken darf; eine optimale Wiedergabe dürfte erreicht sein, wenn S nie kleiner als 0,8 ist. In diesem Zusammenhang wird kurz auf die Bedeutung des "flauen Gallenblasenschattens" hingewiesen.

Die ermittelten Unschärfen aus Cholezystogrammen auf Übersichts- und Zielaufnahmen stimmen weitgehend überein (durchschnittliche Unschärfe 1,7 bzw. 1,8 mm). Der Vergleich mit der mittleren Unschärfe von Cholangiogrammen (0,84 mm) legt die Vermutung nahe, daß in den erstgenannten Werten noch ein größerer Anteil "anatomischer Unschärfe" steckt.

Zur Frage der Abhängigkeit des Schwärzungskontrastes von der Detailgröße konnte ermittelt werden, daß bis zu einer Detailgröße von 2,8 mm eine deutliche Relation besteht, während die Kontraste größerer Gallengänge von anderen Faktoren abhängig sind.

Schließlich konnte an Hand der Mikrodensitometerkurven nachgewiesen werden, daß es sich bei den Begleitschatten der Gallenwege (doppelter Aufhellungsstreifen nach Leupold und Heuck (74) bzw. Choledochus-Pseudobegleitschatten nach Lörinc und Baumann (78)) um ein echtes Bilddetail handelt, das sowohl am Haupt- wie auch am akzessorischen Gallenweg zu finden ist.

Schrifttum

1. A b e l, J.J., L.G. R o w n t r e e : On the pharmacological action of some phthaleins and their derivatives, with spezial reference to their behavior as purgatives.
J. Pharmacol. 1, 231 (1909)
2. A d l e r, A.: Über die Entleerung der mit Tetraiodphtalein gefüllten Gallenblase.
Mitt. a. d. Grenzgeb. d. Med. u. Chir. 40, 196 (1927)
3. A s c h o f f, C.: Die Erkrankungen der steinfreien Gallenwege.
Verh. dtsh. Gesellschaft f. inn. Med. 44, 261 (1932)
4. B a r g m a n n, W. Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen
Thieme Verlag Stuttgart 1964
5. B a u m a n n, W., E. B ö c k, J. S c h n e e w e i s s, H.J. W i c h m a n n : Zur duodenalen Applikation von Biloptin und radioaktivem Biloptin.
Fortschr. Röntgenstr. 95, 454 (1961)
6. B a y e r, R.: Über die Kinetik des extrahepatischen Gallenwegessystems.
Zschr. ges. exp. Med. 105, 702 (1939)
7. B a y l i s s, W.M., E.H. S t a r l i n g : The mechanism of pancreatic secretion.
J. Physiology 28, 325 (1902)
8. B e n n h o l d, H., H. O t t, M. W i e c h : Über den Bindungsunterschied lebergängiger und nierengängiger Substanzen an die Serumeiweißkörper.
Dtsch. med. Wschr. 75, 11 (1950)
9. B e r g e r e t, A., J. D e b o u v r y : Radiomanométrie biliaire. IV le sphincter vésiculaire
Rev. chir. 59, 349 (1940)
10. B e r n h a r d, F.: Der Sperrmechanismus im Ductus hepaticus und seine Bedeutung für die Gallenabsonderung, sowie für die Behandlung der Gallenwegserkrankungen.
Der Chirurg 15 (1943)

11. B e r n h a r d , F.: Die Tätigkeit des Sphincter Oddi im Röntgenbild.
Zentrbl. Chir. 70, 581 (1943)
12. B i e d e r m a n n , K., H. F r i e s e r : Die Photometrie des Röntgenfilmes.
Röntgenblätter 20, 157 (1967)
13. B i e d e r m a n n , K., E. B o r c k e , F. B u c h m a n n ,
H. F r i e s e r , H. M u n k e r , H. S c h o b e r ,
O. S c h o t t , E. F. S t i e v e , L. W i d e n -
m a n n : Über Kontrastbegriffe in der Radiologie
und ihre Definitionen.
Röntgenblätter 20, 131 (1967)
14. B i l l i o n , H.: Vergleichende Untersuchungen mit radio-
aktivem Biliselektan und Biligrafin.
Dtsch. med. Journal 5, 214 (1954)
15. B i l l i o n , H., W. F r o m m h o l d , K. O e f f , W.
S c h ü t z : Untersuchung der Verteilung und Aus-
scheidung von radioaktivem Biliselectan und Bili-
grafin beim Menschen.
Ärztl. Wschr. 10, 574 (1955)
16. B i r c h , De B., H. S p o n g : The secretion of the gall
bladder.
J. Physiology 8, 378 (1887)
17. B o r d e , A., F. S i l l o : Perorale Cholangiographie.
Med. Wschr. 15, 166 (1961)
18. B o y d e n , E.A.: A study of the behavior of the human
gall bladder in response to the ingestion of food,
together with some observations of the mechanism
of the expulsion of bile in experimental animals.
Anat. Rec. 33, 201 (1926)
19. B o y d e n , E.A.: An analysis of the reaction of the hu-
man gall bladder to food.
Anat. Rec. 40, 147 (1928)
20. B o y d e n , E.A.: Hypertrophy of the sphincter choledochus
cause of internal biliary fistula.
Surgery 10, 567 (1941)
21. B o y d e n , E.A.: The anatomy of the choledochoduodenal
junction in man.
Surgery 104, 641 (1957)

22. Buchner, F.: Spezielle Pathologie
Urban und Schwarzenberg, München-Berlin 1965
23. Campbell, B.A., A.C. Burton: Stratification
of bile in the gall bladder and cholelithiasis.
Surgery 88, 731 (1949)
24. Clairmont, P.: Zur Anatomie des Ductus Wirsungianus und Ductus Santorini. Ihre Bedeutung für die
Duodenalresektion wegen Ulcus.
Dtsch. Zschr. Chir. 159, 251 (1920)
25. Clara, M.: Untersuchungen an der menschlichen Leber;
I. Teil über den Übergang der Gallenkapillaren in
die Gallengänge.
Zschr. mikros.- anat. Forsch. 20, 584 (1930)
26. Clerc, E.: Die Ausscheidung von Bilirubin beim Hund
nach verschiedenen Arten parenteraler Darreichung
durch Niere und Leber.
Ärztl. Wschr. 10, 1156 (1955)
27. Cole, W.H.: Historical features of cholecystography.
Radiology 76, 354 (1961)
28. Creelius, G.A.: Beitrag zur Methodik der peroralen
Darstellung der Gallenblase und der großen
Gallenwege.
Berl. Medizin 10, 443 (1959)
29. Doubilet, H., R. Colp: Resistance of the sphincter of Oddi in the human.
Surgery 64, 622 (1937)
30. Düx, A., P. Thurn: Zum Entleerungsmechanismus der
Gallenblase.
Fortschr. Röntgenstr. 92, 630 (1960)
31. Earl, Th.: Pancreas, liver and biliary system.
In: The physiological basis of medical practice,
S. 640 Williams & Wilkins Company Baltimore 1961
32. Egger, J.: Die Theorie des Röntgenbildes; C. Die
Schwächung durch das Objekt.
In: Lehrbuch der Röntgendiagnostik Band 1, S. 14
Thieme-Verlag, Stuttgart 1965
33. Eiger, M.: Der sekretorische Einfluss des Nervus vagus
auf die Gallenabsonderung.
Zschr. f. Biologie 66, 229 (1916)

34. E l l i a s, H.: Segments of the liver.
Surgery 36, 950 (1954)
35. E l l i a s, H., D. P e t t y : Gross anatomy of the blood vessels and ducts within the human liver.
Amer. J. Ana. 90, 59 (1952)
36. F e r n e r, H.: Über das Epithel der menschlichen Gallenblase.
Zachr. Zellf. u. mik. Anat. 34, 503 (1949)
37. F o r s g r e n, E.: Mikroskopische Untersuchungen über die Gallenbildung in den Leberzellen.
Zachr. Zellf. u. mik. Anat. 6, 647 (1928)
38. F o r s g r e n, E.: Über die rhythmische Funktion der Leber und ihre Bedeutung für den Kohlehydratstoffwechsel bei Diabetes und für die Insulinbehandlung.
Klin. Wochr. 8, 1110 (1929)
39. F r i e d m a n, M.H.F., W.J. S n a p e : Comparative effects of extracts of intestinal mucosa in stimulating the external secretion of pancreas and liver.
Fed. Proc. 4, 21 (1945)
40. F r i k, W.: Eigenschaften und Indikationsbereich neuer Gallenkontrastmittel; 3. Mitteilung.
Dtsch. med. Wochr. 85, 1764 (1960)
41. F r o m m h o l d, W.: Ein newartiges Kontrastmittel für die intravenöse Cholezystographie.
Fortschr. Röntgenstr. 79, 283 (1953)
42. F r o m m h o l d, W.: Entwicklung und Fortschritte der Cholezystographie und Cholangiographie.
Berl. Gesundheitsbl. 4, 517 (1953)
43. F r o m m h o l d, W.: Lehrbuch der Röntgendiagnostik I
Thieme-Verlag Stuttgart 1965
44. G r a h a m, E.A., W.H. C o l e : Roentgenologic examination of the gall bladder.
J. Amer. med. Ass. 82, 613 (1924)
45. G r i l l, W., H. P i c h l m a i e r, V. N e f f, K.
S t u h l f a u t h : Beitrag zur Motilität der Gallenwege. (Untersuchungen über das Gallenhor-
mon Cholezystokinin)

Mü. med. Wschr. 105, 130 (1963)

46. G r o d i n s, F.S., I.C. I v y : Biliary tract: Surgical decompression
In : Medical Physics; Volume I, S. 32
The Year Book Publishers, Chicago Illinois 1944
47. G r o s s m a n, M.I., H.D. J a n o w i t z, H. R a l -
s t o n, K.S. K i m : The effect of secretin on
bile formation in man.
Gastroenterology 12, 133 (1949)
48. G r o s s m a n, M.I.: Gastrointestinal hormones.
Physiol Rev. 30, 33 (1950)
49. H a b e r l a n d, H.F.O.: Studien an den Gallenwegen.
Arch. klin. Chir. 139, 319 (1926)
50. H a l p e r t, B.: The "true Luschka ducts" and the "Roki-
danský-Aschoff sinuses" of the human gall bladder.
Bull. Hopkins Hosp. 41, 77 (1927)
51. H a r w a r t, A., K.H. K i m b e l, H. L a n g e c k e r,
J. W i l l e n b r i n k : β - (3 - Dimethylamino-
methylenamino- 2, 4, 6 - trijodphenyl) - propion-
säure als Gallenkontrastmittel.
Arch. exp. Path. u. Pharmak. 237, 186 (1959)
52. H e n n e c k e, A.: Untersuchungen zur Frage der Bildgüte
von Röntgenaufnahmen der Lunge.
Inaug. Diss. München 1966
53. H e r r a t h, von E.: Atlas der normalen Histologie und
mikroskopischen Anatomie des Menschen.
Thieme-Verlag Stuttgart 1965
54. H e s s, W.: Die Erkrankungen der Gallenwege und des Pan-
kreas.
Thieme-Verlag Stuttgart 1961
55. H i g g i n s, G.M., F.C. M a n n : Observations on the
emptying of the gall bladder.
Amer. J. Physiology 78, 339 (1926)
56. H j o r t s j ö, C.H.: The topography of the intrahepatic
duct systems.
Acta anat. 11, 599 (1951)
57. H o l l e, G.: Die Bauprinzipien der Vater'schen Papille
und ihre funktionelle Bedeutung unter normalen
und krankhaften Bedingungen.

- Dtsch. med. Wschr. 85, 648 (1960)
58. H o l z a p f e l, R.: Die Mündung von Gallen- und Pankreasgang beim Menschen.
Anat. Anzeiger 69, 449 (1930)
 59. H o n g, S.S., D.F. M a g e e, F. C r e w d s o n : Physiologic regulation of gall bladder evacuation.
Gastroenterology 30, 625 (1956)
 60. H o r n y k i e w y t s c h, Th.: Intravenöse Cholangiographie; Grundlagen, Technik, Ergebnisse.
Thieme-Verlag, Stuttgart 1956
 61. H o r n y k i e w y t s c h, Th.: Zur Funktion des Ductus choledochus und der Papille.
Fortschr. Röntgenstr. 90, 323 (1959)
 62. I m a n a g a, H., H. H a r a d a, H. W a k u m a t u : Experimentelle Untersuchungen über den Füllungsmechanismus der Gallenblase.
Arch. klin. Chir. 188, 432 (1937)
 63. I v y, A.C., E. O l d b e r g : Hormone mechanism for gall-bladder contraction and evacuation.
Amer. J. Physiology 86, 599 (1928)
 64. I v y, A.C.: The physiology of the gall bladder.
Phys. Rev. 14, 1 (1934)
 65. J a n k e l s o n, I.R., W.S. A l t m a n n : Decholin-sodium in cholecystography.
Radiology 21, 448 (1933)
 66. J o h n s o n, F.E., E.A. B o y d e n : The effect of double vagotomy on the motor activity of the human gall bladder.
Surgery 32, 591 (1952)
 67. J o r e s, A.: Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-Rhythmik des Menschen.
Erg. inn. Med. 48, 574 (1935)
 68. J o r e s, A.: Untersuchungen über die rhythmische Tätigkeit der menschlichen Leber.
Zschr. klin. Med. 129, 62 (1936)
 69. K i m b e l, K.H., W. B ö r n e r, E. H e i s e : Untersuchungen mit radioaktivem Biligradin.
Fortschr. Röntgenstr. 83, 1 (1955)
 70. K l a s e n s, H.A.: The blurring of x-ray images.

Philips Techn. Rev. 9, 364 (1947/48)

71. L a n g, H.: Zur Frage der Funktion des Hepaticus-Chole-
dochussystems.
Der Chir. 17/18, 70 (1946/47)
72. L a n g e c k e r, H., A. H a r w a r t, K. J u n k -
m a n n : 2,4,6-Trijod-3-acetaminobenzoesäure-
Abkömmlinge als Kontrastmittel.
Arch. exp. Path. Pharmak. 220, 195 (1953)
73. L a s s e r, E.C., R.S. F a r r, Tak F u j i m a g a r i,
W.N. T r i p p : The significance of protein bin-
ding of contrast media in roentgen diagnosis.
Amer. J. Roentgenology 87, 338 (1962)
74. L e u p o l d, F., F. H e u c k : Untersuchungen über die
Anwendung der neuen Gallekontrastmittel bei Ge-
sunden und Leberkranken.
Fortschr. Röntgenstr. 83, 464 (1955)
75. L e u p o l d, F., F. H e u c k : Untersuchungen über die
Ausscheidung des Gallenkontrastmittels "Biligrä-
fin" bei Gesunden und Kranken.
Fortschr. Röntgenstr. 87, 443 (1957)
76. L i n d e n b r a t e n, L.D., I.O. K r u g l j a k o w :
Röntgenphysiologie der Gallenblase.
Fortschr. Röntgenstr. 101, 483 (1964)
77. L ö h n e r, L.: Gallen- und Gallenwegstudien; zur Fül-
lungs- und Entleerungsmechanik der Gallenblase
und über die Funktion der Valvulae Heisteri.
Pflügers Arch. Physiologie 211, 356 (1926)
78. L ö r i n c, P., L. B a u m a n n : Der "Choledochus Pseu-
dobegleitschatten"; (ein Hilfsmittel bei der Aus-
wertung der intravenösen Cholangiogramme).
Fortschr. Röntgenstr. 84, 240 (1956)
79. L ö r i n c, P., I. D e á k : Ist das Biligräfin zur Un-
tersuchung der Konzentrationsfähigkeit der Gal-
lenblase geeignet?
Fortschr. Röntgenstr. 85, 207 (1956)
80. L u e t k e n s, U.: Aufbau und Funktion der extrahep. Gal-
lenwege mit bes. Bezugnahme auf die primären Gal-
lenwegsstauungen und die Gallensteinkrankheit.
Leipzig F.C. Vogel 1926 S. 70

81. M a g e e, D.F.: Physiology of the gall bladder emptying.
In: The biliary systems; herausgeg. v. Taylor W.
Blackwell Scientific Publications Oxford 1965
82. M a g e e, D.F.: Secretions of the digestive tract.
In: Physiology and Biophysics; herausgeg. v.
Ruch T.C., Patton H.D.
W.B. Saunders Company, Philadelphia a. London 1965
83. M e h n e n, H.: Die Bedeutung der Mündungsverhältnisse
von Gallen- und Pankreasgang für die Entstehung
der Gallensteine.
Arch. klin. Chir. 192, 559 (1938)
84. M i l l b o u r n, E.: On the excretory ducts of the pan-
creas in man, with special reference to their re-
lations to each other, to the common bile duct
and to the duodenum.
Acta anat. 9, 1 (1950)
85. M i r r i z z i, P.L.: Physiologic sphincter of hepatic bile
duct.
Zorg. Chir. 104 (1942)
86. N ä ä t ä n e n, E.: Über die gegenseitigen Beziehungen
zwischen den Pankreasgängen und den Gallengängen.
Zschr. Anat. 111, 348 (1941)
87. N o r m a n, O.: Studies on the hepatic ducts in cholangio-
graphy.
Acta Radiol. Suppl. 84, Stockholm 1951
88. N o v e k, J.: Concentration of the contrast medium Bili-
grafin in the bile and urine in cholegraphy.
Acta Radiol. 52, 417 (1959)
89. N u b o e r, J.F.: Studien über das extrahep. Gallenwegs-
system.
Frankf. Z. Path. 41, 198 (1931)
90. O d d i, R.: D' un disposition a sphincter spécial de l'
ouverture du canal cholédoque
Arch. ital. biol. 8, 317 (1887)
91. O e s e r, H., E. K r o k o w s k i, V. T a e n z e r :
Vergleichende Schwärzungsmessungen zur Ermittlung
der resorptiven Gallenblasenfunktion.
Fortschr. Röntgenstr. 97, 307 (1962)
92. O t t, P., W. O t t : Röntgenologische Nachweise der Aus-

scheidung jodhaltiger Kontrastmittel, verbunden mit quantitativen Jodbestimmungen.

Fortschr. Röntgenstr. 84, 447 (1956)

93. O t t , P., W. O t t , T. A n k e l : Vergleichende Betrachtungen über die Ausscheidung moderner "Gallenkontrastmittel" bei gesunden Menschen.
Ärztl. Forschung 15, 563 (1961)
94. P a h l , R.: Schnelle und erweiterte Gallenwegsdiagnostik mit dem neuen i.v. applizierbaren Kontrastmittel "Biligräfin".
Dtsch. med. Wschr. 79, 363 (1954)
95. P a n n h o r s t , R., K. H a j o w s k y : Verwendung der renalen Biligräfin-Ausscheidung in der klinischen Diagnostik.
Ärztl. Wschr. 10, 845 (1955)
96. P e r n k o p f , E.: Topographische Anatomie des Menschen; Band II, erste Hälfte
Urban u. Schwarzenberg, Berlin, Wien (1943)
97. P f u h l , W.: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen; Band V/2.
Springer Verlag, Berlin 1932
98. P o n g r a t z , A.: Chemische Konstitution und Eignung als Röntgenkontrastmittel.
Scientia Pharmak. 23, 137 (1955)
99. P o t t e r , J.C., F.C. M a n n : Pressure changes in the biliary tract.
Amer. J. Med. Sciences 171, 202 (1926)
100. R i e g e l , C., I.S. R a v d i n , C.G. J o h n s t o n : Studies of gall-bladder function; VI The absorption of bile salts and cholesterol from the bile free gall-bladder.
Amer. J. Physiology 99, 656 (1931)
101. R o t h m a n , M.M.: Anatomy and physiology of the gall-bladder and the bile ducts.
Gastroenterology Volume III, S. 567
W.B. Saunders Comp., Philadelphia a. London 1965
102. S a n d b l o m , P., W.L. V o e g t l i n , A.C. I v y : The effect of cholecystokinin on the choledochoduodenal mechanism (Sphincter of Oddi)

- Amer. J. Physiology 113, 175 (1935)
103. S c h m i d t, H., E. G u t t m a n n : Systematische Anatomie der Gallengänge des Menschen.
Acta anat. 28, 1 (1956)
104. S c h o b e r, H.: Das Sehen; Band II, S. 263 u. 319
VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1964
105. S c h ö n d u b e, W.: Röntgenologische Beiträge zum Entleerungsmechanismus der Gallenblase.
Fortschr. Röntgenstr. 36, 603 (1927)
106. S c h ö n d u b e, W.: Über die Physiologie der Gallenblasenentleerung.
Klin. Wschr. 8, 2059 (1929)
107. S c h ö n d u b e, W.: Weitere röntgenologische Beiträge zum Entleerungsmechanismus der Gallenblase.
Fortschr. Röntgenstr. 39, 865 (1929)
108. S c h r e i b e r, H.: Das Muskellager der menschlichen Gallenblasenwand im Vergleich zu der vierfüßiger Säuger.
Zschr. Anat. 111, 91 (1941)
109. S c h r e i b e r, H.: Konstitutionsmorphologien und topische Betrachtungen über die menschlichen extrahep. Gallenwege und ihre Bedeutung für den Entleerungsmechanismus der Gallenblase.
Klin. Wschr. 22, 511 (1943)
110. S c h w e l g e r, R., E. B o y d e n : The development of the pars intestinalis of the common bile duct in the human fetus, with special reference to the origin of the ampulla of Vater and the sphincter of Oddi.
I The involution of the ampulla.
Anat. Rec. 67, 441 (1937)
II The early development of the musculus proprius.
Anat. Rec. 68, 17 (1937)
111. S e y s s, R.: Verzögerte Kontrastmittelausscheidung bei der intravenösen Cholezysto-Cholangiographie.
Die med. Welt, S. 253 (1959)
112. S e y s s, R.: Zur Spätfüllung der Gallenblase.
Die med. Welt, S. 123 (1967)

113. S p i e g l e r, G.: Physikalische Grundlagen der Röntgen-
diagnostik.
Thieme-Verlag, Stuttgart 1957
114. S p i e g l e r, G.: Anschauung und Anschauen.
Röntgenblätter 20, 171 (1967)
115. S t e c h e r, W.: Über Schichtungen und Resorptionsvor-
gänge in der Gallenblase nach Biligrafinanwen-
wendung.
Fortschr. Röntgenstr. 83, 9 (1955)
116. S t i e v e, F.E.: Beobachtungen bei Cholezystographien
mit Biligrafin und die sich daraus ergebenden
diagnostischen Folgerungen.
Fortschr. Röntgenstr. 81, 735 (1954)
117. S t i e v e, F.E.: Medizinisch notwendige Bildqualität im
Verhältnis zur Strahlenbelastung.
Vortrag auf dem Fernsehsymposion in Bad Soden
1964 (in Druck)
118. S t i e v e, F.E.: Kontrast und Schärfe im Röntgenbild der
Lunge. In: Bildgüte in der Radiologie. Bericht
über das Symposion in Herrenchiemsee; herausgeg.
v. Prof. Dr. F.E. Stieve.
Fischer Verlag, Stuttgart 1966
119. S t i e v e, F.E., L. W i d e n m a n n : Die Beurteilung
der Güte eines Röntgenbildes.
Röntgenblätter 20, 109 (1967)
120. S t ö h r, v. M o l l e n d o r f f, G o e r t t l e r :
Lehrbuch der Histologie.
Fischer-Verlag, Jena 1955
121. S t u m p f, P.: Die objektive, laufende Messung der Schat-
tentiefe von Röntgenbildern und ihre Bedeutung
für die Diagnostik (Densographie)
Fortschr. Röntgenstr. 36, 695 (1927)
122. T a n t u r i, C.A., A.C. I v y : On existence of secreto-
ry nerves in vagi and reflex excitation and in-
hibition of bile secretion.
Amer. J. Physiology 121, 270 (1938)
123. T a r s o l i, A., M.L. R a m o r i n o, C. C o l a -
g r a n d e, G. D e m a i o : Experiments with
Cholecystokinin.

- Acta radiol. 55, 193 (1961)
124. T e r a, H.: Stratification of human gallbladder bile in vivo.
Acta chir. scan. Suppl. 256, Stockholm 1960
125. W a l t e r, B.: Über scheinbare Helligkeitsmaxima und -minima in einfachen Röntgenbildern.
Fortschr. Röntgenstr. 25, 88 (1917/18)
126. W a t a n a b e, A.: Über den Einfluß der Injektionsgeschwindigkeit auf das Röntgenbild bei Verwendung von Biligrafin. I Klinische Beobachtungen
Med. Mschr. 15, 749 (1961)
II Experimentelle Studien an Kaninchen
Med. Mschr. 15, 828 (1961)
127. W e s t p h a l, K.: Muskelfunktion, Nervensystem und Pathologie der Gallenwege. II Experimentelle Untersuchungen über die nervöse Beeinflussung der Bewegungsvorgänge der Gallenwege.
Zschr. klin. Med. 96, 52 (1923)
128. W e s t p h a l, K., F. G l e i c h m a n n : Gallenwegsfunktion und Gallensteinleiden. II Über die Muskelfunktion der extrahepatischen Gallenwege im besonderen im Collum-Cysticus-Gebiet.
Zschr. klin. Med. 115, 107 (1930)
129. W h i t a k e r, L.R.: The mechanism of the gall bladder.
Amer. J. Physiology 78, 411 (1926)
130. W i n d, C.H.: Kon. Akad. Amsterdam, Juni 24, 1898
zitiert bei Walter B.
131. W i t z g a l l, H., U. T r e b b i n : Biligrafinausscheidung im Harn als Chromodiagnosticum für die Leberfunktion.
Ärztl. Wschr. 10, 178 (1955)
132. W r i g h t, S.: Secretion of Digestive Juices.
In: Applied Physiology S. 362
Oxford University Press, London, New York, Toronto 1965

Herrn Professor Dr. med. H. von Braunbehrens danke ich für die kritische Durchsicht und die Übernahme des Korreferates.

Herrn Professor Dr. med. F.E. Stieve möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas und die Übernahme des Referates danken.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Professor Dr. H. Frieser, Direktor des Institutes für Wissenschaftliche Photographie der Technischen Hochschule München, der mir das Mikrophotometer für die Messungen zur Verfügung stellte.

Für die Anregung, Unterstützung und Beratung, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit jederzeit gewährt wurden, danke ich Herrn Professor Dr. med. F.E. Stieve und Fräulein L. Widenmann herzlich.

Lebenslauf

Am 9. Oktober 1942 wurde ich, Wolfgang Hugo Segerer, als Sohn des Oberleutnants Hugo Segerer und seiner Ehefrau Dr. med. Barbara Segerer, geb. Meindl, zu Amberg in der Oberpfalz geboren. Dort besuchte ich die Volksschule und trat 1953 in die Oberrealschule Amberg über, wo ich im Juni 1962 die Reifeprüfung absolvierte.

Nach einem zwölfsemestrigen Studium der Medizin an der Universität München legte ich im Herbst 1968 das Staatsexamen ab.

